

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

В. Ф. ВИХРЕВ и М. С. ШКРОБ

ВОДОПОДГОТОВКА

Под редакцией
доктора техн. наук, профессора М. С. ШКРОБА

Д о п у щ е н о
Министерством высшего и среднего специального
образования СССР в качестве учебника для сту-
дентов вузов, обучающихся по специальности
«Тепловые электрические станции»

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ



«ЭНЕРГИЯ» МОСКВА 1973

6П2.22

В 41

УДК 621.187.12(075.8)

Вихрев В. Ф. и Шкроб М. С.

В 41 Водоподготовка. Учебник для вузов. Под ред. М. С. Шкроба. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1973.

416 с. с ил.

Рассматриваются внутрикотловые физико-химические процессы и методы борьбы с отложениями в парогенераторах, проточкой части паровых турбин и теплообменных аппаратах. Освещаются также вопросы коррозии основного и вспомогательного оборудования ТЭС и даются рекомендации по ее предотвращению. Освещаются факторы, определяющие водохимические режимы барабанных и прямоточных парогенераторов.

Книга является учебником по курсу «Тепловые электрические станции». Она может быть полезной и для инженеров, работающих в области проектирования и эксплуатации тепловых электростанций.

В 0332-050
051(01)-73 4-73

6П2.22

Василий Федорович Вихрев, Михаил Самойлович Шкроб
Водоподготовка

Редактор А. П. Пильщиков
Редактор издательства Л. Н. Синельникова
Переплет художника Н. Т. Ярешко
Технические редакторы Л. М. Фридкин и Л. В. Иeanова
Корректор Е. Х. Горбунова

Слано в набор 24/VII 1972 г.

Подписано в печать 5/II 1973 г.

T-00747

Формат 84X108^{1/2}

Бумага типографская № 2

3-х л. печ. л. 21,81

Уч.-изд. л. 23,91

Тираж 30 000 экз.

Зак. 1274

Цена 95 коп.

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Советов Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Отпечатано в Московской типографии № 4 Союзполиграфпрома
Государственного комитета Советов Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Б. Переяславская ул., 46.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопросы организации рационального водного режима и водоподготовки приобрели важное значение в деле обеспечения надежной и экономичной эксплуатации тепловых электростанций в связи с ростом параметров пара и единичной мощности парогенераторов и турбоагрегатов. Серьезное внимание должно быть также уделено обработке охлаждающей воды конденсаторов в системе с замкнутой циркуляцией, а также очистке подпиточной воды тепловых сетей с открытым разбором горячей воды.

Учитывая учебное назначение книги, в ней дают основные представления о физико-химических процессах образования отложений и коррозионных повреждений металла, которые протекают в водяном и паровом трактах современных тепловых электростанций. В книге изложены основные сведения о практических способах предотвращения коррозии паросилового оборудования и отложений в парогенераторах, проточной части паровых турбин, конденсаторах, тракте питательной воды и тепловых сетях. Освещены также специфические особенности водных режимов барабанных и прямоточных парогенераторов. Большое внимание авторы уделили разъяснению сущности различных методов водоподготовки и типовых схем водоподготовительных установок, а также описанию прогрессивной технологии обработки природных вод и загрязненных конденсатов. Описаны конструкции основного и вспомогательного оборудования водоподготовительных установок, а также рассмотрены вопросы проектирования и автоматизации этих установок.

Изложению основного материала о методах водоподготовки предпослана глава, посвященная свойствам воды и компонентам природных вод.

В книге авторы обобщили и систематизировали новые экспериментальные и практические данные, полученные

отечественными научно-исследовательскими и проектными институтами, наладочными организациями, энергосистемами, заводами — поставщиками водоочистительной аппаратуры, а также материалы, опубликованные за последние годы в зарубежной технической литературе.

Методика и последовательность изложения материала отражают многолетний опыт преподавания курса «Водоподготовка» на теплоэнергетических факультетах энергетических вузов.

Первый учебник по курсу «Водоподготовка» — книга М. С. Шкроба и В. Ф. Вихрева была издана в 1966 г. При подготовке текста второго издания учебника авторы стремились в полной мере учесть пожелания и ценные критические замечания педагогов, студентов и других читателей нашей книги. Потребовалось также существенно обновить первоначальный текст большинства глав книги в связи с тем, что за прошедшие 7 лет как в СССР, так и за рубежом были разработаны и успешно внедрены на многих ТЭС новые, более эффективные и экономичные методы очистки природных вод (пресных, морских, солоноватых) и конденсатов. Появились новые типы автоматизированной водоподготовительной аппаратуры оригинальных конструкций. Внесены практически ценные усовершенствования в технологию обработки природных вод и конденсатов.

Авторы выражают глубокую благодарность доктору техн. наук, профессору В. В. Померанцеву и канд. техн. наук, доценту М. Я. Полянскому за ценные указания при рецензировании рукописи.

Все замечания по книге будут приняты авторами с благодарностью и учтены в дальнейшей работе.

Замечания просьба направлять по адресу: Москва, М-114, Шлязовая набережная, 10, Издательство «Энергия».

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

О-1 ЗНАЧЕНИЕ ВОДОПОДГОТОВКИ И ВОДНОГО РЕЖИМА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОЙ И ЭКОНОМИЧНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В ближайшем десятилетии главным направлением в развитии энергетики в СССР явится преимущественно строительство крупных государственных районных электрических станций (ГРЭС), являющихся конденсационными электростанциями (КЭС), а также чисто отопительных и промышленных теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), обеспечивающих комбинированное производство электроэнергии на базе теплового потребления коммунальных и промышленных предприятий городов и рабочих поселков. Отсюда следует, что тепловые электростанции (ТЭС) являются основной энергетической базой народного хозяйства СССР, водяной пар — основой энергетики, а вода — сырьем для получения пара и теплоносителем.

Перед советскими теплоэнергетиками поставлена задача дальнейшего повышения экономичности эксплуатации ТЭС, снижения численности эксплуатационного персонала и широкого внедрения механизации и автоматизации технологических процессов.

Характерной чертой развития отечественных районных КЭС является систематическое увеличение единичной мощности энергоблоков (парогенератор — турбина) и установленной мощности КЭС, а также повышение параметров пара.

Накопление эксплуатационного опыта и создание оригинальных конструкций крупных прямоточных парогенераторов и турбоагрегатов позволили широко развернуть в СССР строительство ГРЭС с блоками 150, 200, 300, 500 и 800 Мвт на давление пара у турбин 130 и 240 кгс/см².

В ближайшем будущем, очевидно, энергоблоки 500, 800 и 1200 Мвт на сверхкритическом давлении пара станут основным оборудованием тепловых паротурбинных электростанций. На крупных отопительных ТЭЦ устанавливаются теплофикационные турбоагрегаты мощностью 135 и 250 Мвт на параметры пара соответственно 130 кгс/см², 570°C и 240 кгс/см², 560/565°C. Ведущая роль паротурбинных электростанций в централизованном электро- и теплоснабжении страны, а также большие единичные мощности агрегатов предъявляют весьма высокие требования к обеспечению длительной, надежной и экономичной эксплуатации их с полной нагрузкой в целях бесперебойного снабжения потребителей электрической энергией и теплом.

Возможность длительной бесперебойной эксплуатации ТЭС в значительной степени определяется интенсивностью протекания физико-химических процессов накипеобразования на поверхности нагрева парогенераторов, уноса солей, кремниевой кислоты и окислов металлов паром из испаряемой (котловой) воды и образования отложений их в проточной части паровых турбин, а также коррозии металла энергетического оборудования и трубопроводов. Интенсивность протекания всех этих процессов зависит от качества пара, питательной и котловой воды.

Опыт многолетней эксплуатации мощных энергоблоков в СССР и за рубежом убедительно свидетельствует о том, что необходимым условием длительной, надежной и экономичной эксплуатации ТЭС является рациональная организация водоподготовки и водного режима парогенераторов и в первую очередь строгое соблюдение экспериментально обоснованных эксплуатационных норм качества пара, конденсата, питательной и котловой воды.

При решении водной проблемы паротурбинных электростанций существенное значение имеет то, что переход к сверхвысокому и сверхкритическому давлению значительно видоизменяет не только условия парообразования, но и свойства самого рабочего тела.

Одним из факторов, обуславливающих столь важное значение водной проблемы современных ТЭС, являются высокие удельные тепловые нагрузки стенок парообразующих труб парогенераторов. В целях обеспечения надежного температурного режима металла этих поверхностей и тем самым более продолжительной рабочей кампании парогенераторов необходимо жесткое ограничение

допустимой величины отложений на поверхностях нагрева, омываемых водой, пароводяной смесью или паром.

Другим важным фактором является повышенная чувствительность турбин высокого давления к загрязнению их проточной части. Даже небольшие отложения на лопатках турбины, еще не вызывающие снижения ее номинальной мощности, могут существенно снизить тепловую экономичность турбины и всего энергоблока. С повышением давления пара и переходом к прямоточным парогенераторам сверхкритического давления (с. к. д.) опасность загрязнения питательной воды резко возрастает из-за увеличения интенсивности коррозионных процессов с ростом температуры.

Основными задачами водоподготовки и рациональной организации водного режима парогенераторов и тракта питательной воды являются:

а) предотвращение образования на внутренних поверхностях парообразующих и пароперегревательных труб отложений кальциевых соединений и окислов железа, а в проточной части паровых турбин отложений соединений меди, железа, кремниевой кислоты и натрия;

б) защита от коррозии конструкционных металлов основного и вспомогательного оборудования ТЭС и теплофикационных систем в условиях их контакта с водой и паром, а также при нахождении их в резерве.

Для того чтобы блок парогенератор — турбина на ТЭС с. к. д. смог проработать в течение 4000—6000 ч без отложений в экранных трубах и в проточной части турбины, необходимо осуществлять весьма совершенные методы обработки добавочной питательной воды, а также очистки загрязненных конденсатов. Все эти мероприятия желательно проводить при минимальных капитальных затратах на сооружение водоподготовительных установок и с минимальными эксплуатационными расходами.

За прошедшие годы в нашей стране достигнуты значительные успехи в развитии средств водоподготовки и в повышении надежности и экономичности их эксплуатации. Существенный прогресс достигнут и в области организации рационального водного режима тепловых электростанций и химического контроля за водой и паром, а также в деле подбора коррозионностойких металлов и защитных покрытий.

Приступая к изучению курса «Водоподготовка», студент должен предварительно восстановить в памяти соот-

ветствующие разделы курса «Общая химия», в которых трактуются закономерности процессов электролитической диссоциации, гидролиза, выпадения труднорастворимых веществ и т. д. Особое внимание должно быть обращено на те соединения, которые являются обычными примесями природных вод (соли, газы, щелочи, органические примеси, силикаты и др.). Необходимо, кроме того, иметь достаточно четкое представление о трактующихся в курсе «Парогенераторы» внутрикотловых физических процессах теплообмена, гидродинамики, увлажнения генерируемого пара, а также знать применяемые в современных мощных парогенераторах схемы и конструкции устройств ступенчатого испарения, промывки пара и механической сепарации.

0-2. ОБРАЩЕНИЕ ВОДЫ В РАБОЧЕМ ЦИКЛЕ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Вода, получаемая из источников водоснабжения, используется на тепловых электростанциях: а) в качестве технологического сырья для получения пара в парогенераторах, испарителях и паропреобразователях; б) для конденсации отработавшего пара в конденсаторах паровых турбин и других производственных теплообменных аппаратах; в) для охлаждения продувочной воды и подшипников дымососов; г) для охлаждения воздуха, газов и масла в охлаждающих установках; д) в качестве рабочего теплоносителя в теплофикационных отопительных сетях и сетях горячего водоснабжения.

На рис. 0-1 изображены типичные принципиальные схемы обращения воды в рабочем цикле ТЭС с конденсационной турбиной (КЭС) и промышленной теплоэлектроцентрали с теплофикационной турбиной (ТЭЦ).

1. Исходная природная вода, получаемая из источников водоснабжения и направляемая в качестве технологического сырья на водоподготовительную установку либо используемая для каких-либо других целей в процессе получения электрической энергии.

2. Добавочная вода, используемая для восполнения потерь пара и конденсата в пароводяном цикле электростанции; в качестве добавочной воды к питательной воде парогенераторов могут быть использованы хи-

мически обработанная вода или дистиллят (конденсат вторичного пара испарителей).

3. Конденсат турбин, содержащий незначительное количество растворенных веществ, является наиболее ценной составляющей питательной воды; поэтому следует всемерно стремиться к минимальным потерям его на ТЭС.

4. Обратный конденсат внешних потребителей пара используется, как составная часть питательной воды после его предварительной очистки от посторонних примесей.

5. Питательная вода, подаваемая насосами в парогенераторы для восполнения убыли испарившейся котловой воды и представляющая собой обычно смесь конденсата турбин, регенеративных и теплофикационных подогревателей, обратного конденсата внешних потребителей и добавочной воды.

6. Котловая вода, испаряемая в парогенераторах; воду, испаряемую в испарителях и паропреобразователях, называют концентратом.

7. Продувочная вода или концентрат, выпускаемые из парогенераторов, испарителей и паропреобразователей с целью поддержания в них на заданном уровне концентрации примесей, непрерывно поступающих в цикл ТЭС.

8. Охлаждающая или циркуляционная вода, используемая в конденсаторах паровых турбин для конденсации отработавшего пара.

9. Подпиточная вода, подаваемая в теплофикационную сеть для восполнения потерь циркулирующей в ней сетевой воды.

В рабочем цикле ТЭС имеют место внутростанционные потери пара и конденсата, основными источниками которых являются: а) парогенераторы, где теряется пар, расходуемый на привод вспомогательных механизмов, на обдувку наружных поверхностей нагрева от золы и шлака, на грануляцию шлаков в топке, на распыливание в форсунках жидкого топлива, при периодическом открытии предохранительных клапанов, при продувке пароперегревателей во время растопки парогенераторов и с непрерывной и периодической продувкой парогенераторов с многократной циркуляцией; б) турбоагрегаты, где имеют место непрерывные потери пара через лабиринтовые уплотнения и в воздуш-

ных насосах, отсасывающих из конденсаторов вместе с воздухом и некоторое количество пара; в) конденсатные и питательные баки, где происходит потеря воды через перелив и испарение горячего конденсата; г) питательные насосы, где происходят утечки воды через неплотности сальниковых уплотнений; д) трубопроводы, где происходят утечки воды через неплотности фланцевых соединений, запорной и регулирующей арматуры; е) термические деаэраторы, где происходит потеря пара с выпаром; ж) турбонасосы — с выхлопом пара; з) проботборочные точки — с конденсатом и водой.

Внутростанционные потери пара и конденсата могут быть значительно уменьшены путем установки дренажных и сливных баков для сбора конденсата, путем правильного выбора габаритов конденсатных баков, путем применения сварки трубопроводов и обеспечения высокой плотности фланцевых соединений, ликвидации парения предохранительных клапанов, отказа от использования паровых форсунок, паровых приводов и паровых обдвочных аппаратов, а также путем применения теплообменных аппаратов с приспособлениями для конденсирования и улавливания отработавшего пара. При соблюдении этих условий внутростанционные потери пара и воды составляют незначительную величину, не превышающую 0,5—1,0% общей производительности парогенератора. Следовательно, на КЭС основной составляющей питательной воды является конденсат турбин, что видно из водного баланса КЭС:

$$D_{п.в} = D_{к.т} + D_{д.в}, \quad (0-1)$$

где $D_{п.в}$ — часовой расход питательной воды, т/ч; $D_{к.т}$ — часовой расход конденсата турбин, т/ч; $D_{д.в}$ — часовой расход добавочной воды, т/ч, причем величина $D_{к.т}$ почти в 100 раз больше, чем $D_{д.в}$. Аналогичное положение имеет место и на чисто отопительных ТЭЦ.

Солеосодержание питательной воды $a_{п.в}$ на КЭС, определяемое из солевого баланса, равно:

$$a_{п.в} = \frac{D_{к.т}}{D_{п.в}} a_{к.т} + \frac{D_{д.в}}{D_{п.в}} a_{д.в}, \quad (0-2)$$

где $a_{к.т}$ и $a_{д.в}$ — солеосодержание соответственно конденсата турбин и добавочной воды, г/г, т. е. определяется в основном солеосодержанием конденсата турбин.

На промышленных ТЭЦ, отпускающих отработавший пар из отборов турбин внешним потребителям на различные производственные нужды, наряду с внутростанционными потерями пара и конденсата имеют место внешние потери, величина которых зависит от специфических особенностей технологии производства и конструкции заводских аппаратов, потребляющих пар.

Движение воды и пара на промышленной ТЭЦ осуществляется по двум замкнутым контурам (рис. 0-1,б): один — через конденсатор турбины, а второй — через производственные аппараты, использующие тепло отработавшего пара теплофикационных турбин. В схеме условно принято, что сбор и возврат высококачественного производственного конденсата осуществляются только двумя потребителями отборного пара, а у третьего потребителя конденсат загрязнен вредными для работы парогенераторов примесями. Загрязненный производственный конденсат подается на водоподготовительную установку для умягчения, обезмасливания и обезжелезивания. Иногда конденсат греющего пара настолько сильно бывает загрязнен вредными примесями в технологических аппаратах, что требуется сложная очистка его, которая может оказаться дороже обработки природной воды, и его приходится сбрасывать в канализацию. Поэтому при проектировании систем теплоснабжения промышленных предприятий решение вопроса о целесообразности возврата производственного конденсата на ТЭЦ в каждом отдельном случае должно быть обосновано соответствующими технико-экономическими расчетами.

Водный баланс промышленных ТЭЦ характеризуется следующим уравнением:

$$D_{\text{ав}} = D_{\text{кт}} + D_{\text{дв}} + D_{\text{ок}} + D_{\text{рп}} \quad (0-3)$$

где $D_{\text{ок}}$ — обратный конденсат внешних потребителей пара, т/ч; $D_{\text{рп}}$ — пар из расширителя непрерывной продувки, т/ч.

На промышленных ТЭЦ добавочная вода восполняет не только внутростанционные потери пара и конденсата и потери воды с непрерывной продувкой, но и потери пара и конденсата у внешних потребителей. Поэтому относительная величина добавочной воды на промышленных ТЭЦ значительно больше, чем на КЭС, и конденсат турбин не является основной составляющей питательной воды.

Солесодержание питательной воды на промышленных ТЭЦ определяется не только солесодержанием конденсата турбин, но и солесодержанием других компонентов питательной воды, а именно:

$$a_{\text{ц.в.}} = \frac{D_{\text{к.т.}}}{D_{\text{ц.в.}}} a_{\text{к.т.}} + \frac{D_{\text{т.п.}}}{D_{\text{ц.в.}}} a_{\text{т.п.}} + \frac{D_{\text{о.к.}}}{D_{\text{ц.в.}}} a_{\text{о.к.}} + \frac{D_{\text{р.п.}}}{D_{\text{ц.в.}}} a_{\text{р.п.}} \quad (0-4)$$

где $a_{\text{о.к.}}$ и $a_{\text{р.п.}}$ — солесодержание соответственно обратного конденсата и пара из расширителя непрерывной продувки, г/т.

В пароводяной тракт ТЭС непрерывно поступают загрязнения, ухудшающие качество питательной воды: а) с паром, вырабатываемым парогенератором; б) с присосами охлаждающей воды через неплотности в конденсаторах паровых турбин; в) с присосами через неплотности в теплофикационных подогревателях; г) с низкокачественным дистиллятом или с забросом концентрата во вторичный пар паропреобразователей; д) с загрязненным конденсатом внешних потребителей отборного пара теплофикационных турбин; е) с добавочной питательной водой, восполняющей потери пара и конденсата внутри ТЭС и у внешних потребителей пара; ж) с реагентами, вводимыми в тракт питательной воды для осуществления так называемого коррекционного водного режима, предназначенного для борьбы с коррозией конструктивных металлов и с накипеобразованием на поверхностях нагрева; з) с продуктами коррозии элементов энергетического оборудования и трубопроводов, омываемых водой или паром. При этом следует иметь в виду, что абсолютная величина каждого из перечисленных источников загрязнений может изменяться в довольно широких пределах в зависимости от типа ТЭС, условий ее эксплуатации, от принятой схемы обработки добавочной питательной воды и загрязненных конденсатов, а также от противокоррозионной стойкости применяемых конструктивных материалов и защитных покрытий. Для того чтобы предотвратить накопление поступающих в пароводяной тракт электростанции загрязнений, необходимо организовать их систематический вывод из пароводяного цикла путем непрерывной и периодической продувки парогенераторов с многократной циркуляцией, применения промывочно-сепарационных устройств прямооточных парогенераторов докритического давления, химического обессоливания конденсата и т. д.

Проверка плотности ряда конденсаторов показала, что величина присоса через неплотности и соединения колеблется в широких пределах, что обусловлено длительным воздействием на трубные пучки термических и динамических напряжений, возникающих под влиянием переменного теплового режима работы конденсатора. Кроме того, в случае агрессивной охлаждающей воды возникает опасность ее присосов через сквозные коррозионные свищи или трещины в стенках конденсаторных труб (см. гл. 2).

В тех случаях, когда охлаждающая пресная вода является маломинерализованной, загрязнения, поступающие с присосами в паровое пространство конденсатора, состоят в основном из кальциевых и магниевых солей. Если же охлаждающая вода обладает высокой минерализацией (солончатые и морские воды), то загрязнения состоят в основном из натриевых солей.

Количество солей, поступающих в конденсат турбин через неплотности, определяется величиной и длительностью присосов охлаждающей воды и ее солевым содержанием. Величина присосов $\alpha_{0в}$ охлаждающей воды может быть определена по показателям качества турбинного конденсата и охлаждающей воды и соотношения

$$\alpha_{кт} = \alpha_{п}(1 - \alpha_{0в}) + \alpha_{0в}\alpha_{0в} \quad (0-5)$$

где $\alpha_{кт}$, $\alpha_{п}$ и $\alpha_{0в}$ — показатели качества (жесткость, содержание и др.) соответственно турбинного конденсата, пара и охлаждающей воды.

Учитывая малую величину $\alpha_{п}$ по сравнению с $\alpha_{0в}$, формулу (0-5) можно упростить, тогда

$$\alpha_{0в} = \frac{\alpha_{кт} - \alpha_{п}}{\alpha_{0в}} 100, \% \quad (0-6)$$

Отсюда следует, что на энергоблоках с к. д. в тех случаях, когда охлаждающая вода сильно минерализована, допустимый присос не должен превышать 0,002—0,005 % расхода пара в конденсатор в условиях длительной эксплуатации энергоблока.

В целях герметизации вальцовочных соединений в трубных доках конденсаторов и предотвращения протечек охлаждающей воды через неплотности за последние годы широкое применение получили уплотняющие покрытия, наносимые на трубные доски. В качестве материалов для уплотняющих покрытий используются: а) битумная эмульсия; б) жидкий найрит (модификация

низкомолекулярного полихлоропренового каучука), который вулканизируется при температуре 100°C ; а) тнo-коловый герметик, способный вулканизироваться при комнатной температуре, что позволяет применять этот материал еще в период монтажа конденсатора.

Для того чтобы избежать присосов агрессивной охлаждающей воды через сквозные свищи и трещины, конденсаторные трубы должны обладать в любых условиях надежной противокоррозионной и противозерозионной стойкостью (см. гл. 2).

В условиях эксплуатации ТЭС нередко наблюдаются резкие возрастания присосов охлаждающей воды в конденсаторе (например, при разрыве труб); это требует, особенно на энергоблоках с к. д., непрерывного контроля качества гурбиинного конденсата, чтобы своевременно принимать меры для ликвидации опасных присосов.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ ВОД И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

1-1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В соответствии с основными звеньями круговорота воды в природе различают воду атмосферную, поверхностную, грунтовую и морскую.

Атмосферная вода, выпадающая на земную поверхность, является наиболее чистой природной водой, но и она содержит, кроме газов (кислорода, азота и углекислоты), поглощаемых ею из воздуха, органические и неорганические вещества, количество и состав которых зависят от характера атмосферы. В районе больших населенных пунктов и промышленных центров атмосферные осадки содержат сероводород, сернистую и серную кислоты, частицы пыли и сажи. Вблизи моря в дождевых водах обнаруживается некоторое количество растворенного хлористого натрия. Общее солесодержание атмосферной воды обычно не превышает 50 мг/кг, а содержание в ней накипеобразующих солей ничтожно. Использование атмосферной воды для технических целей ограничивается трудностью сбора ее в значительных количествах.

Воды поверхностная, грунтовая и морская являются более минерализованными, чем атмосферная вода, и в большинстве случаев не могут непосредственно, без предварительной обработки, применяться для технических целей. Поверхностные воды рек, озер и искусственных водохранилищ всегда содержат то или иное количество растворенных веществ и нерастворимых механических примесей. Растворенными веществами вода обогащается в результате контакта с различными гор-

ными породами при протекании по руслам рек и фильтрации через грунт. Просачиваясь через верхние слои почвы, представляющие собой мелкозернистые породы, вода освобождается от механических примесей, но одновременно обогащается солями, газами и органическими веществами, представляющими собой продукты разложения растительных и животных организмов.

Особенно интенсивно обогащают воду осадочные породы (известняки, доломиты, мергели, гипс, каменная соль и др.). Подпочвенными водами легче всего растворяются NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4 и другие легкорастворимые соли. Обогащение природных вод труднорастворимыми карбонатами кальция CaCO_3 , магния MgCO_3 и железа происходит не путем прямого растворения, а благодаря следующим химическим реакциям, которые протекают при наличии в воде свободной углекислоты:



В результате этих реакций образуются легкорастворимые в воде двууглекислые соединения — бикарбонаты кальция, магния и железа, диссоциирующие на катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} и анионы HCO_3^- . Так как углекислые соли кальция и магния встречаются весьма часто в виде различных пород, например известняков, меловых отложений и доломитов, то бикарбонаты кальция и магния содержатся почти во всех природных водах в тех или иных количествах.

Коренные горные породы, представляющие собой сложные силикаты и алюмосиликаты (граниты, кварцевые породы и т. п.), почти нерастворимы в воде и лишь при продолжительном воздействии на них воды, содержащей органические кислоты, они, подвергаясь разрушению, образуют растворимые в воде силикаты.

Подземные воды, выходящие на поверхность из артезианских скважин, родников и ключей, называются грунтовыми. Грунтовые воды обычно бывают прозрачными, практически не содержащими механических и коллоид-

ных примесей, от которых они освобождаются в процессе фильтрации через толщу грунта. Но при прохождении через грунт вода насыщается различными растворимыми веществами, вследствие чего содержание грунтовых вод, как правило, выше, чем поверхностных. Из природных вод наиболее минерализованными являются воды океанов, открытых морей и соленых озер.

Кроме естественного кругооборота воды, существует также искусственный, созданный жизнедеятельностью человека. Вода из источников водоснабжения забирается насосами промышленных и коммунальных водопроводов, подается по трубам для того или иного употребления, заканчивающегося, как правило, ухудшением ее качества, после чего сточные воды спускаются в водоемы иногда после предварительной очистки, а нередко и без всякой очистки. В результате этого многие реки, являясь основными источниками водоснабжения, сильно загрязняются промышленными и бытовыми стоками.

С промышленными сточными водами фабрик, заводов, рудников и коммунальных предприятий в источники водоснабжения могут попадать свободные кислоты и щелочи, соединения меди, свинца, цинка, алюминия, а также некоторые органические соединения: фенолы, эфирные масла, нефтяные продукты и т. п. В сточных водах населенных пунктов присутствуют продукты разложения белков: амиды, амины, аммиак, сероводород и т. п. Такие стоки могут иногда радикально менять состав воды в водоемах в самых разнообразных отношениях, как это наблюдается, например, в случае химических, коксобензольных, нефтеперегонных и других заводов.

Степень загрязнения воды зависит от количества сточных вод, спускаемых в реку, живого сечения реки, скорости ее течения и величины самоочищающего действия реки.

При использовании тепловыми электростанциями воды из загрязненных рек необходима сложная обработка ее, что требует дополнительных затрат, ухудшает эксплуатацию оборудования и снижает экономичность работы электростанции. Поэтому охрана водоемов и рек от загрязнений является важной народнохозяйственной задачей, разрешение которой требует проведения надлежащей предварительной очистки всех сточных вод перед спуском их в источники водоснабжения.

1-2. ПРИМЕСИ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ

Все примеси, загрязняющие природную воду в результате ее кругооборота, можно по степени дисперсности (крупности) разделить на три группы: 1) грубодисперсные с размерами частиц больше 100 мкм; 2) коллоиднодисперсные с размерами частиц от 1 до 100 мкм; 3) молекулярнодисперсные с размером частиц менее 1 мкм;

Грубодисперсные вещества, обуславливающие мутность природных вод и являющиеся механическими примесями, состоят из песка, глины и других частиц минерального и органического происхождения, которые смываются с верхнего покрова земли дождями или талыми водами во время весенних и осенних паводков, а также попадают в воду в результате размыва русла рек.

Коллоиднодисперсные вещества по размерам частиц занимают промежуточное положение между грубодисперсными и молекулярнодисперсными. Они свободно проходят через бумажный фильтр, но не проникают через ультрапоры животных и растительных мембран. Коллоидные частицы не осаждаются даже в течение весьма длительного времени. В природных водах в коллоиднодисперсном состоянии находятся соединения кремния, алюминия, железа, а также органические вещества, образующиеся в результате распада животных и растительных организмов.

К молекулярно- и ионодисперсным веществам относятся растворенные в воде соли, кислоты, щелочи и газы. В подавляющем большинстве случаев состав природных вод определяется следующими ионами:



Остальные ионы:



и др. — обычно содержатся в природных водах в незначительных количествах, хотя иногда они существенно влияют на свойства воды и поведение ее в парогенераторах, тракте питательной воды и конденсаторах паровых турбин.

Ионы кальция в маломинерализованных водах по количеству занимают первое место. Основными источниками появления ионов кальция в природных водах являются известняки. Другим источником появления Ca^{2+} в природных водах является гипс. Ионы магния поступают в воду преимущественно при растворении доломитов ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) при наличии в воде свободной углекислоты.

С ростом минерализации природных вод относительное содержание ионов Ca^{2+} уменьшается, так как CaCO_3 и CaSO_4 при увеличении их концентрации из-за испарения воды переходят в твердую фазу вследствие их малой растворимости и непрерывно выводятся из раствора. Вследствие лучшей растворимости MgCO_3 и MgSO_4 ионы Mg^{2+} могут содержаться в природных водах в больших концентрациях, достигающих в минерализованных водах до нескольких граммов в литре, а в соленых озерах — до десятков граммов а килограмме. Из ионов щелочных металлов в природных водах содержатся ионы натрия, причем с увеличением минерализации воды их концентрация возрастает.

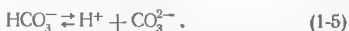
Ионы хлора присутствуют почти во всех природных водах, причем содержание их изменяется в очень широких пределах. Залежи хлористых солей осадочных пород растворяются в воде и выносятся подземными водами и реками в моря и океаны, где постепенно они накапливаются, достигая высокой концентрации. Подобно ионам Na^+ ионы Cl^- являются характерными ионами сильно минерализованных вод морей и океанов.

Сульфат-ионы, так же как и хлорид-ионы, распространены повсеместно. В подземных водах содержание SO_4^{2-} обычно выше, чем в воде рек и озер. Основным источником появления в воде растворенных сульфат-ионов является гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Водородные H^+ и гидроксильные OH^- ионы появляются в воде в результате ее диссоциации: $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$. Водородные ионы могут появиться в растворах также в результате диссоциации кислот, например: $\text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^-$, гидроксильные ионы — в результате диссоциации щелочей, например: $\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{OH}^-$. В химически чистой воде при температуре 23°C концентрации C_{H^+} и C_{OH^-} равны 10^{-7} г-ион/кг и характеризуют нейтральную реакцию жидкости. В кислой среде $C_{\text{H}^+} > 10^{-7} > C_{\text{OH}^-}$, а в щелочной $C_{\text{H}^+} < 10^{-7} < C_{\text{OH}^-}$.

Реакцию раствора удобнее выражать показателями pH или pOH, каждый из которых является отрицательным логарифмом концентрации соответствующего иона. В нейтральной среде $\text{pH} = 7 = \text{pOH}$. Кислая среда характеризуется неравенством $\text{pH} < 7 < \text{pOH}$, а щелочная — неравенством $\text{pH} > 7 > \text{pOH}$.

Угольная кислота является двухосновной и имеет две степени диссоциации:



В природных водах, кроме так называемой «свободной» углекислоты, находящейся в них в виде растворенного углекислого газа CO_2 , и недиссоциированных молекул угольной кислоты H_2CO_3 содержатся бикарбонатные ионы HCO_3^- , а в некоторых случаях карбонатные ионы CO_3^{2-} .

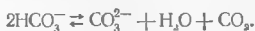
Количественные соотношения между CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- и CO_3^{2-} определяют значение рН воды (табл. 1-1).

Таблица 1-1

Соотношение форм угольной кислоты в воде при 25 °С и различных значениях рН, %

Форма угольной кислоты	рН									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$	100	95	70	20	2	—	—	—	—	
HCO_3^-	—	5	30	80	98	95	70	17	2	
CO_3^{2-}	—	—	—	—	—	5	30	83	98	

В водных растворах существует кинетическое равновесие между различными формами угольной кислоты:



Из этого уравнения следует, что для поддержания в растворе определенной концентрации HCO_3^- требуется, чтобы в воде присутствовало соответствующее этой концентрации количество свободной «равновесной углекислоты» CO_2 . Если фактически содержащееся в воде количество свободной углекислоты больше «равновесной концентрации», то избыток ее будет способен вызывать растворение CaCO_3 при контакте воды, например, с известняками, доломитами и бетонными сооружениями. Такую воду называют «агрессивной». Наоборот, при недостатке CO_2 по сравнению с равновесной концентрацией будет наблюдаться распад части бикарбонатных ионов,

т. е. сдвиг равновесия вправо. Это приведет к образованию дополнительного количества карбонатных ионов CO_3^{2-} , которые будут реагировать с обычно присутствующими в природных водах катионами кальция, выделяя из раствора осадок карбоната кальция по уравнению



В процессах водоподготовки образование труднорастворимого CaCO_3 применяется для снижения концентрации в воде катионов кальция. С повышением температуры растворимость CaCO_3 в воде сначала увеличивается, а затем уменьшается, а именно:

Температура, °C	20	75	100	220	289	309
Растворимость, мг/кг	13	18,2	23,8	16,6	13,2	10,9

Соединения азота встречаются в природной воде в виде ионов аммония NH_4^+ , нитритных ионов NO_2^- и нитратных ионов NO_3^- . Основным источником появления этих ионов в природных водах являются продукты распада различных сложных органических веществ животного и растительного происхождения. Ионы аммония, кроме того, попадают в водоемы со сточными промышленными водами. В незагрязненных поверхностных водах содержание NH_4^+ исчисляется долями мг/кг, а в загрязненных водах оно может достигать сотен миллиграммов на килограмм. В присутствии достаточного количества кислорода и особого вида бактерий ионы аммония окисляются в нитритные, а затем нитратные ионы. Таким образом, NO_2^- и NO_3^- являются конечными продуктами сложного процесса минерализации органических веществ.

Соединения железа встречаются в природных водах в виде двухвалентного (закисного) и трехвалентного (окисного) железа. Эти соединения могут быть в истинно растворенном состоянии, в виде коллоидов и суспензий. В грунтовых водах содержится преимущественно бикарбонат закиси железа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, легко гидролизующийся и окисляющийся при наличии в воде кислорода и уменьшении концентрации растворенной в воде углекислоты. В поверхностных водах железо содержится главным образом в виде органических комплексных соединений, либо в виде гидрата окиси железа

$\text{Fe}(\text{OH})_3$. Примером органического комплексного соединения железа является гуминовое железо в речных водах болотного питания. Частой причиной содержания железа в речных водах является загрязнение их производственными сточными водами. Концентрация железа в исходной воде может увеличиваться в процессе транспортирования ее по стальным и чугунным трубам в результате загрязнения воды продуктами коррозии.

Соединения кремния присутствуют в природных водах в виде соединений различной степени дисперсности (коллоидных частиц, молекул и ионов). Разнообразие форм кремниевых соединений объясняется тем, что кремниевый ангидрид способен присоединять разные количества молекул воды, образуя различные кислоты с общей формулой $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Солн этих кислот образуют ряд минералов, растворение которых природными водами дает кремниевые соединения разного химического состава. Растворимость кремниевой кислоты в природных водах зависит от ряда факторов и в первую очередь от ионного состава воды и величины pH. Присутствие в воде катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , способных образовывать с кремниевой кислотой малорастворимые силикаты, понижает возможную концентрацию ее в растворе. Наличие в воде катионов Na^+ и повышение значения pH, наоборот, повышают растворимость кремниевой кислоты. В поверхностных водах рек, озер, водохранилищ и прудов, а также в грунтовых водах артезианских скважин кремнеесодержание в пересчете на SiO_3^{2-} обычно находится в пределах 0,6—40 мг/кг и лишь в отдельных случаях повышается до 65 мг/кг.

Кремниевая кислота является двухосновной и имеет две степени диссоциации:



В табл. 1-2 приведены соотношения различных форм кремниевой кислоты при 25°C в зависимости от величины pH. Приведенные данные свидетельствуют о том, что в поверхностных водах, значение pH которых близко к 7, вторая степень диссоциации H_2SiO_3 практически не возникает.

Часть соединений кремния находится в коллоидном состоянии в виде частиц поликремниевой кислоты $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Как показали проведенные исследования, количество коллоидной кремниевой кислоты составляет от 3 до 18% общего содержания ее в воде. Между коллоидной и ионной формами кремниевой кислоты существует равновесие, зависящее от физических и химических условий.

Соотношения форм кремниевой кислоты в воде при 25 °С и различных рН, %

Форма кремниевой кислоты	рН						
	5	6	7	8	9	10	11
H_2SiO_3	100	99,9	99,9	90,9	50,0	8,9	0,8
$HSiO_3^-$	—	0,1	1,0	9,1	50,0	91,0	98,2
SiO_3^{2-}	—	—	—	—	—	0,1	1,0

В природных водах присутствуют также Al^{3+} , Mn^{2+} и другие ионы.

Наиболее распространенными в природных водах газами являются азот, кислород и углекислый газ, из которых последние два являются коррозионноагрессивными. Растворимость газов в воде зависит от температуры воды и парциального давления данного газа над ней.

Источником обогащения природных вод кислородом в естественных условиях является атмосфера, кислород которой абсорбируется соприкасающимися с воздухом поверхностными слоями воды. Содержание кислорода в воде регулируется его парциальным давлением в атмосфере. С другой стороны, кислород в природных водах расходуется на различные окислительные процессы.

Источником появления углекислого газа в природных водах являются различные биохимические процессы окисления органических веществ как в самих водоемах, так и в почве, при фильтровании через которую вода обогащается углекислотой. Большая часть углекислоты находится в виде свободного молекулярно растворенного газа, и лишь незначительная часть ее, прореагировав с водой, образует угольную кислоту. Углекислота присутствует в том или ином количестве почти во всех природных водах. Только при значении рН, превышающем 8,5, содержание свободной углекислоты в воде практически равно нулю. Содержание углекислоты в природной воде может уменьшиться из-за выделения избыточной части ее в атмосферу либо из-за связывания углекислоты карбонатами кальция и магния известняков и доломитов и, наконец, вследствие жизнедеятельности водных растений.

1-3. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Важнейшими показателями качества воды, определяющими пригодность ее для использования на тепловых электростанциях, являются содержание взвешенных веществ, сухой остаток, общая жесткость и ее составляющие, общая щелочность и ее составляющие, окисляемость, концентрация водородных ионов и содержание коррозионноагрессивных газов O_2 и CO_2 . Для получения более полной качественной характеристики воды дополнительно определяют содержание в ней катионов кальция, магния и натрия, анионов хлора, карбонатных, сульфатных и силикатных, а также соединений железа и алюминия, выраженных в виде суммы их «полуторных» окислов.

Содержание взвешенных веществ выражается в мг/кг.

Сухим остатком воды называется суммарное количество растворенных в ней нелетучих молекулярно-дисперсных и коллоидных веществ минерального и органического происхождения, выраженное в миллиграммах на килограмм. Сухой остаток определяется путем выпаривания предварительно профильтрованной пробы воды и последующего высушивания остатка при температуре $110^\circ C$ до постоянного веса. В сухой остаток не входят взвешенные вещества, растворенные в воде газы и летучие вещества (например, HCO_3^- , NH_3 и др.). Если сухой остаток прокалить при температуре $800^\circ C$, вес его уменьшится и получится прокаленный остаток. Уменьшение веса получится вследствие сгорания органических веществ, разложения карбонатов и удаления остатков влаги.

Минеральным остатком называется сумма концентраций всех содержащихся в воде катионов, анионов и полуторных окислов $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ с учетом превращения при выпаривании воды HCO_3^- и OH^- в CO_3^{2-} и H_2SiO_3 в SiO_2 :

$$MO = C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C_{Na^+} + C_{CO_3^{2-}} + C_{SO_4^{2-}} + C_{Cl^-} + \\ + C_{NO_3^-} + C_{NO_2^-} + C_{SiO_2} + C_{Al_2O_3} + C_{Fe_2O_3} \text{ мг/кг.} \quad (1-9)$$

Жесткость воды является одним из наиболее важных показателей качества воды, используемой на те-

пловых электростанциях. Общая жесткость воды J_0 равна сумме концентраций в ней катионов кальция (кальциевая жесткость J_{Ca}) и магния (магниевая жесткость J_{Mg}) и выражается в миллиграмм-эквивалентах на килограмм ($мг\text{-экв}/кг$) или грамм-эквивалентах на тонну ($г\text{-экв}/т$) при измерении больших жесткостей и в микрограмм-эквивалентах на килограмм ($мкг\text{-экв}/кг$) при измерении малых жесткостей.

Для пересчета выраженных в $мг/кг$ концентраций кальция и магния в $мг\text{-экв}/кг$ их делят на эквивалентные веса этих катионов, т. е.

$$J_{Ca} = \frac{C_{Ca^{2+}}}{20,04} \cdot мг\text{-экв}/кг; \quad (1-10)$$

$$J_{Mg} = \frac{C_{Mg^{2+}}}{12,16} \cdot мг\text{-экв}/кг, \quad (1-11)$$

где $C_{Ca^{2+}}$ и $C_{Mg^{2+}}$ — концентрация в воде катионов кальция и магния, $мг/кг$; 20,04 и 12,16 — эквивалентные веса кальция и магния.

Общая жесткость воды подразделяется на карбонатную и некарбонатную. Карбонатная жесткость воды J_K в основном обуславливается присутствием в воде бикарбонатов кальция и магния $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$, так как $CaCO_3$ и $MgCO_3$ малорастворимы в воде. В том случае, когда концентрация ионов HCO_3^- , выраженная в $мг\text{-экв}/кг$, меньше общей жесткости воды, величина карбонатной жесткости определяется концентрацией HCO_3^- :

$$J_K = \frac{C_{HCO_3^-}}{61,02}, \quad (1-12)$$

где J_K — карбонатная жесткость, $мг\text{-экв}/кг$; $C_{HCO_3^-}$ — концентрация бикарбонатных ионов, $мг/кг$; 61,02 — эквивалентный вес HCO_3^- .

Некарбонатная жесткость воды $J_{нк}$ обуславливается наличием в воде хлоридов, сульфатов и

других некарбонатных солей кальция и магния: CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , MgSO_4 , CaSiO_3 , MgSiO_3 и др.

Таким образом, *общая жесткость воды равна сумме кальциевой и магниевой жесткостей, с одной стороны, и сумме карбонатной и некарбонатной жесткостей с другой.*

По величине общей жесткости природных вод установлена следующая классификация: $J_0 < 1,5$ мг-экв/кг — жесткость малая; $J_0 = 1,5 \div 3,0$ мг-экв/кг — средняя; $J_0 = 3,0 \div 6,0$ мг-экв/кг — повышенная $J_0 = 6,0 \div 12,0$ мг-экв/кг — высокая; $J_0 > 12$ мг-экв/кг — очень высокая.

Общей щелочностью воды $Щ_0$ называется выраженная в мг-экв/кг суммарная концентрация содержащихся в воде анионов OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , HSiO_3^- , SiO_3^{2-} и некоторых солей слабых органических кислот (гуматов).

Так как все перечисленные вещества реагируют с кислотой, то общая щелочность воды определяется количеством кислоты, затраченной на титрование с индикатором метилоранжем. В природных водах щелочность обуславливается обычно присутствием бикарбонатов, гидратов и гуматов. В зависимости от анионов, обуславливающих щелочность, различают: а) гидратную щелочность $Щ_{\text{г}}$, обусловленную концентрацией в воде гидроксильных ионов OH^- ; б) карбонатную щелочность $Щ_{\text{к}}$, обусловленную концентрацией в воде карбонатных ионов CO_3^{2-} ; в) бикарбонатную щелочность $Щ_{\text{б}}$, обусловленную концентрацией бикарбонатных ионов HCO_3^- .

В простейшем случае при отсутствии в воде фосфатного и других анионов слабых кислот, кроме карбонатного, гидроксильного или бикарбонатного, общая щелочность воды может состоять только из гидратной щелочности; из суммы гидратной и карбонатной щелочностей; только из карбонатной щелочности; из суммы карбонатной и бикарбонатной щелочностей; только из бикарбонатной щелочности.

Карбонатную жесткость воды часто называют щелочностью, поскольку карбонатная жесткость обуславливается наличием в воде бикарбонатов и карбонатов кальция и магния, т. е. соединений, дающих в растворе анионы HCO_3^- и CO_3^{2-} . В том случае, когда концентрация

этих ионов в воде, выраженная в мг-экв/кг, больше общей жесткости воды, разность между ($C_{\text{HCO}_3^-} + C_{\text{CO}_3^{2-}}$) и

J_0 определяет натриевую щелочность воды, т. е. суммарную концентрацию в воде бикарбоната и карбоната натрия.

Стабильность воды. Стабильной называется вода, не способная к выделению отложенный карбоната кальция и не являющаяся агрессивной, что обусловливается состоянием равновесия между растворенной в воде свободной углекислотой и ионами кальция. Степень отклонения от стабильности воды характеризуется ее нестациональностью $\Delta \text{Щ}$, равной разности между щелочностями воды до и после фильтрования через слой мраморной крошки.

Органические вещества. Непосредственное определение концентрации органических веществ в воде практически невозможно, поэтому содержание их принято характеризовать косвенным путем, определяя окисляемость воды с применением в качестве окислителя марганцовокислого калия KMnO_4 (перманганата калия) в кислой среде.

Перманганатом калия окисляются не только содержащиеся в воде органические вещества, но и некоторые легкоокисляющиеся минеральные вещества. В то же время некоторые органические вещества перманганатом калия не окисляются. Поэтому окисляемость характеризует содержание органических веществ лишь приблизительно; в действительности она является некоторым условным показателем, характеризующим наличие в воде легкоокисляющихся перманганатом калия примесей.

Величина окисляемости выражается количеством миллиграммов KMnO_4 , затраченных на окисление примесей воды, содержащихся в 1 кг ее. Так как содержащиеся в воде различные органические вещества требуют для своего окисления различных количеств перманганата калия, нельзя вычислить содержание органических веществ в воде по величине ее окисляемости путем применения пересчетных коэффициентов. Содержание органических веществ приблизительно определяется как разность между сухим и минеральным остатками.

1-4. КАЧЕСТВО ПРИРОДНЫХ ВОД

Поверхностные воды рек, озер и искусственных водохранилищ имеют наибольшее значение для водоснабжения тепловых электростанций. Качество этих источников водоснабжения определяется количеством и качеством поступающих в них подземных и поверхностных вод,

а также стоков от промышленных и коммунальных предприятий. Так как количество воды поверхностного стока реки меняется в течение года в значительных пределах (периоды снеготаяния, периоды учащенных и редких дождей и т. п.), меняется также и качество речной воды. Сооружение на реках гидростанций с большими водохранилищами способствует стабилизации качественных показателей воды этих рек ниже плотины на протяжении года.

Кроме изменения качества речной воды в данном ее месте по времени, следует учитывать также изменение его по длине реки. Это имеет существенное значение для рек с большой протяженностью, в которые впадают притоки с различным качеством воды.

Воды рек обычно содержат относительно небольшое количество растворенных солей — не больше 500—600 мг/кг; реки с более минерализованной водой встречаются преимущественно в засушливых районах. Основными компонентами химического состава речных вод являются катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ и анионы HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^- .

Маломинерализованные воды рек содержат преимущественно ионы Ca^{2+} и HCO_3^- . По мере повышения минерализации речных вод содержание в них ионов Na^+ , SO_4^{2-} и Cl^- повышается. Содержание растворенного кислорода в воде рек бывает близким к растворимости его при данной температуре. Исключением является подледный период, когда содержание кислорода в воде часто бывает ниже его растворимости. Показатель pH речной воды обычно не выходит за пределы 6,5—7,5.

Речные воды, как правило, содержат некоторое количество взвешенных веществ, сильно колеблющееся в зависимости от времени года и количества выпадающих дождей. Воды средней полосы СССР содержат наибольшее количество взвеси в период после вскрытия ледяного покрова во время весеннего половодья. Минимальное содержание взвешенных веществ в речных водах бывает зимой, когда реки покрыты льдом и в них поступают преимущественно подземные (грунтовые) стоки. Зимой речная вода характеризуется повышенными минерализованностью и жесткостью. В летнее время качество речной воды определяется соотношением между количеством и качеством вод подземного и поверхностного стоков, питающих реку.

Реки северных областей СССР имеют сравнительно мягкую воду. Изменение количества воды поверхностных стоков практически почти не сказывается на качестве воды этих рек, так как воды подземных и поверхностных стоков в северных областях по своему качеству близки. Реки южных областей страны отличаются высокой жесткостью, обусловленной высокой жесткостью питающих их грунтовых вод. При сравнительно небольшом количестве атмосферных осадков, выпадающих в бассейнах этих рек, разбавляющее действие вод поверхностных стоков невелико.

Воды с преобладанием карбонатной жесткости над некарбонатной составляют 80% вод всех рек и озер СССР. Такие воды отличаются малой минерализованностью. Воды с преобладанием некарбонатной жесткости над карбонатной характерны преимущественно для районов Донбасса, Приазовья, Казахстана и обычно характеризуются высокой минерализованностью. В засушливых зонах СССР (Донбасс, Казахстан и др.) решающее значение в качестве источников водоснабжения имеют пруды.

Воды океанов и морей имеют примерно одинаковое соотношение концентрации катионов и анионов. Соле-содержание вод океанов и открытых морей равно приблизительно 35 г/кг, а соледержание внутренних морей (Балтийского, Каспийского и Черного) 7,5—16,0 г/кг. Основными компонентами химического состава морских вод являются ионы натрия и хлора. Общая жесткость воды океанов находится в пределах 215—225 мг-экв/кг, в том числе карбонатная жесткость составляет около 15 мг-экв/кг.

Подземные воды отличаются большим разнообразием химического состава. Степень минерализации подземных вод зависит от условий залегания водоносного горизонта и колеблется в пределах от 100 мг/кг до нескольких граммов на 1 кг. Воды артезианских скважин при правильном их устройстве, как правило, не содержат взвешенных веществ. Количество растворенного в подземных водах кислорода бывает обычно меньше предельной растворимости кислорода при данной температуре. Нередко подземные воды содержат значительные количества растворенной углекислоты, а также железа и сероводорода.

КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА ПАРОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НЕИ

2-1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Металлы и сплавы, употребляемые для изготовления теплоэнергетического оборудования, обладают способностью вступать во взаимодействие с окружающей их средой (вода, пар, газы), содержащей те или иные коррозионноагрессивные примеси (кислород, угольная и другие кислоты, щелочи и др.). В результате воздействия агрессивной среды происходит коррозионное разрушение металла или сплава вследствие электрохимических и химических процессов, которое обычно начинается с поверхности и более или менее быстро продвигается вглубь.

При появлении на поверхности металла макро- или микрогальванических элементов на тех участках, где он соприкасается с растворами электролитов и влажным паром, протекает электрохимическая коррозия, которая наиболее часто встречается в практике эксплуатации тепловых электростанций. Этому виду коррозии подвержены водоподготовительное оборудование; все элементы тракта питательной воды и трубопроводы, возвращающие конденсат с производства, парогенераторы; атомные реакторы; конденсаторы паровых турбин и тепловые сети.

При эксплуатации указанного паросилового оборудования всегда существуют условия для протекания электрохимической коррозии, в том числе: контакт различных металлов, неоднородность поверхности, нарушение кристаллической решетки металла, неравномерность температурного поля, различие концентрации примесей в слоях раствора, контактирующих с металлом, и ряд других факторов.

Химическая коррозия происходит в результате непосредственного окисления котельного металла высокотемпературным паром.

В практике эксплуатации энергоустановок наблюдаются также комбинированные случаи разрушений металла, т. е. совместное протекание химической и электрохимической коррозии. В результате коррозионного

действия агрессивных агентов на металл непосредственно на его поверхности и в тесном контакте с ним образуется защитная микропористая окисная пленка, которая представляет собой продукт коррозии металла и тормозит дальнейшее развитие коррозионного процесса. Чем полнее и равномернее окисная пленка покрывает поверхность металла, чем меньше в ней трещин, тем более высокими защитными свойствами она обладает.

В практических условиях защитные свойства пленки определяются не только тем сопротивлением, которое она оказывает коррозионноагрессивному агенту, но и ее сохранностью. Наибольшую целостность имеют защитные пленки, обладающие хорошим сцеплением с металлом, достаточно прочные и пластичные, с минимальной разницей в коэффициентах линейного расширения по сравнению с металлом.

Повреждения защитной пленки могут быть вызваны механическими, химическими или термическими процессами. Коробление барабанов парогенераторов, резкие колебания температуры стенки парообразующих труб вследствие попеременного омыwania их водой и паром, воздействие на поверхность котельного металла концентрированных растворов NaOH при глубоком упаривании котловой воды и т. п. — все эти процессы могут разрушать защитную окисную пленку. Если защитная пленка по тем или иным причинам растрескивается и отслаивается от металла, то процесс коррозии развивается дальше с повышенной скоростью, которая постепенно замедляется, пока вновь не произойдет очередное разрушение защитной пленки. Следствием коррозии элементов парогенератора и тракта питательной воды является отложение окислов металлов как в парообразующих и пароперегревательных трубах, так и в проточной части паровой турбины.

Статистические данные свидетельствуют о том, что больше половины аварий и значительное число эксплуатационных неполадок, происходящих на тепловых электростанциях из-за дефектов водного режима, вызваны коррозионными повреждениями основного и вспомогательного оборудования.

Основными источниками появления окислов железа и меди в теплоносителе являются: а) коррозия элементов водо-парового тракта, в том числе водоподготовительного оборудования, трубных пучков регенеративных подо-

гревателей и конденсаторов турбин, конденсаторов, баков для хранения обессоленной воды и конденсатов и др.; б) коррозия водяных конденсаторов; в) стояночная коррозия находящихся в резерве парогенераторов и вспомогательного оборудования при отсутствии их эффективной консервации; г) разрушение слоя окислы и окисных отложений на внутренних поверхностях барабанов, парообразующих и пароперегревательных труб; д) неэффективная шламовая продувка парогенераторов.

На электростанциях сверхвысокого и сверхкритического давления наблюдается коррозионное растрескивание элементов оборудования, выполненных из аустенитных сталей. В практике известны случаи, когда этот опасный вид коррозии приводит за очень короткий срок к аварийному выходу из строя агрегатов. Коррозия элементов проточной части паровой турбины приводит к увеличению радиального зазора между лопатками и корпусом, что влечет за собой ухудшение к. п. д. турбины.

Последствия коррозии паровых турбин, находящихся в резерве, весьма опасны. Поэтому защита их от коррозии во время простоев является таким же обязательным мероприятием, как и защита в процессе эксплуатации.

Необходимо учитывать, что коррозионные повреждения (свищи, трещины) конденсаторных труб как с паровой стороны (под действием NH_3 и O_2), так и с водяной стороны (под действием агрессивной охлаждающей воды) могут привести к опасным загрязнениям конденсата из-за присосов охлаждающей воды.

Сужение поперечного сечения теплофикационных сетей вследствие образующихся при коррозии бугров или наростов окислов железа приводит к увеличению гидравлического сопротивления и снижению пропускной способности сетей. При работе тепловых сетей немалые неприятности причиняет обогащение воды продуктами коррозии, что может вызвать скопление их в застойных местах или на участках с малыми скоростями движения. Забивание коррозионными отложениями местных систем отопления целиком выводит из работы отдельные приборы и стояки.

Актуальность борьбы с коррозией в теплофикационных системах централизованного горячего водоснабже-

ния связана со значительным ростом протяженности коммуникаций. Предотвращение возникновения коррозии оборудования паротурбинных установок и теплофикационных систем, а также поддержание длительной сохранности защитной окисной пленки на поверхности металла являются сложной задачей, для решения которой необходимо применять современные средства подготовки добавочной воды, обработки котловой воды, а также умело подбирать коррозионностойкие металлы и защитные покрытия.

2-2. ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ КОРРОЗИИ

Различают общую и местную формы коррозионных разрушений металла.

Общая (равномерная) коррозия охватывает всю или почти всю поверхность металла, находящуюся под действием агрессивной среды. Равномерная коррозия протекает примерно с одинаковой скоростью по всей поверхности металла.

Местная (неравномерная) коррозия протекает с неодинаковой скоростью по поверхности металла, в результате чего коррозионные разрушения концентрируются на определенных участках. При этом различают следующие типы местной коррозии: пятнами, язвинами, точечную и сквозную. Язвины малого диаметра (до 4—5 мм) присущи коррозионному воздействию на металл кислорода как во время простоя, так и во время работы парогенераторов. С язвинами кислородной коррозии имеют большое внешнее сходство повреждения металла вследствие так называемой «ракушечной» коррозии, развивающейся на стенках парообразующих труб в виде язвин большого диаметра, прикрытых плотным слоем окислов железа.



Рис. 2-1. Межкристаллитная коррозия котельного металла.

Следует указать, что чем больше степень локализации коррозии, тем она опаснее из-за бо́льшей скорости проникновения в глубь металла. На поверхно-

сти энергетического оборудования, соприкасающегося с водой и паром, могут иметь место все указанные формы коррозионных разрушений, причем на практике встречаются различные модификации и сочетания этих форм местной коррозии. В заклепочных швах, развальцованных концах паровобразующих труб и в тете барабана парогенератора при определенных неблагоприятных условиях возникает межкристаллитная коррозия, или так называемая «каустическая хрупкость» металла, которая приводит к значительной потере его механической прочности. Начальные весьма тонкие и незаметные для глаза трещины и ветвления от них проходят между кристаллитами металла; основные же трещины обычно имеют транскристаллитный характер, т. е. проходят через зерна кристаллитов (рис. 2-1). Межкристаллитная коррозия приводит к кольцевым трещинам и завальцованным концам труб. Продукты межкристаллитной коррозии располагаются здесь же, оставаясь, таким образом, заключенными внутри металла. Коррозионному растрескиванию особенно подвержены аустенитные нержавеющие стали, а также латунь, причем разрушение структуры металла может иметь как транскристаллитный, так и межкристаллитный характер.

Особое место занимают повреждения, возникающие при явлении коррозионной усталости, когда агрессивное действие внешней среды сочетается с переменными по величине и знаку механическими напряжениями металла. Разрушения, происходящие в результате коррозионной усталости, почти не сопровождаются пластической деформацией детали. Трещины часто имеют ветвистый (древовидный) характер и проходят обычно по телу зерна, т. е. имеют место транскристаллитное разрушение металла (рис. 2-2).

Пароводяная коррозия котельных труб и пароперегревателей, возникающая под действием высокоперегретого пара, обычно имеет равномерный характер и приводит к уменьшению толщины стенки трубы. Рез-

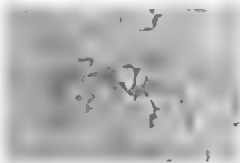


Рис. 2-2. Транскристаллитная коррозия котельного металла.

Во выраженных язв при этом не получается, хотя глубина р зьеда ия металла может сильно изменяться по длине и окружности трубы в зависимости от характера расслоения пароводяной смеси и теплонапряженности поверхности металла.

Водородная коррозия наблюдается в различных зонах изогенератора, но только на участках, подвергающихся местной коррозии с усиленным выделением водорода. Она проявляется обычно в форме неглубоких язв или углублений, под которыми обнаруживается хрупкий обезуглероженный металл. Парообразующие трубы в местах разрыва имеют толстые края без заметного утоньшения стенки, а над сварными швами имеются только язвочки.

Наиболее распространенной формой повреждения латунных труб конденсаторов паровых турбин, охлаждаемых высокоминерализованной пресной или морской водой, является избирательная коррозия, характеризующаяся потерей этим сплавом цинка, который уходит в раствор. Латунь, лишенная цинка, становится хрупкой, и конденсаторные трубы легко ломаются. Нередко имеют место остовидные разрушения конденсаторных труб с образованием сквозных свищей диаметром в булавочную головку (пробочное обесцинкование).

Распространение форм коррозионных разрушений металла паросилового оборудования обусловлено сложностью процесса коррозии и влиянием большого количества факторов на его развитие.

2.3. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ

а) Механизм и условия протекания коррозионных процессов

К электрохимической коррозии относятся процессы разрушения металла, сопровождающиеся протеканием электрического тока от одной части металла к другой. Электрохимическая коррозия возникает в результате взаимодействия металла и раствора электролита, являющегося проводником электричества, либо под действием внешнего электрического тока (например, блуждающих токов). Главнейший элемент, за счет работы которого идет коррозионный процесс, называют коррозион-

ным элементом Действие коррозионного элемента может быть пояснено на примере гальванической пары (рис. 2-3), состоящей из железного и медного электродов, погруженных в электролит (например, в раствор NaCl).

При замыкании электродов внешним проводником отмечается прохождение тока по этому проводнику, обусловленное перемещением электронов от железного электрода (анода) к медному, являющемуся «приемником» электронов, т. е. катодом. Отвод электронов от железного электрода вызывает освобождение соответствующего им (по количеству зарядов) числа ионов-атомов железа с переходом последних в раствор. Таким образом, вторым следствием замыкания электродов является переход железа в раствор, или, иными словами, коррозии этого элемента. Третьим следствием является усвоение поступающих к катоду электронов, находящихся в электролите, ионами или молекулами.

Описанная модель коррозионного элемента в основном воспроизводит характер действия на металл или сплав коррозионной среды — электролита. При погружении такого металла или сплава в водный раствор вся поверхность его разделяется на большое количество анодных и катодных участков, создающих условия для протекания коррозионного процесса.

Коррозионные элементы, электроды которых имеют размеры, хорошо различаемые невооруженным глазом, называют макрогальваническими элементами, а электроды, которые могут быть обнаружены лишь при помощи микроскопа, — микрогальваническими элементами. При наличии микроэлементов некоторые участки поверхности металла играют роль растворяющихся анодов, а другие участки являются катодами. На поверхности корродирующего металла имеется множество микроанодов и микрокатодов, непосредственно

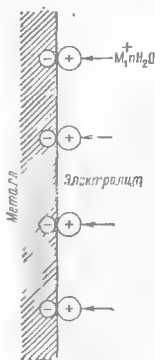


Рис. 2-3. Схема коррозионного элемента.

замкнутых цепей, а следовательно и протекания тока, поэтому так называются металлы электрохимически активнее ионизированного элемента.

Потенциалы металлов, погруженных в 1 н. раствор своих ионов, называются нормальными электродными потенциалами. Если построить гальванический элемент из двух различных металлов, погруженных в 1 н. растворы своих ионов, то знак заряда в таком элементе будет определяться относительным положением этих металлов в ряду напряжений (табл. 2-1).

Таблица 2-1

Нормальные электродные потенциалы металлов (при 25 °С)

Электрод, в		Электрод, в		Электрод, в	
Li/Li^{2+}	-2,95	Cr/Cr^{2+}	-0,56	Fe/Fe^{2+}	-0,05
K/K^{+}	-3,93	Fe/Fe^{3+}	-0,11	H/H^{+}	$\pm 0,00$
Mg/Mg^{2+}	-1,87	Cd/Cd^{2+}	-0,40	Cu/Cu^{2+}	+0,34
Al/Al^{3+}	-1,33	Ni/Ni^{2+}	-0,23	Ag/Ag^{+}	+0,80
Mn/Mn^{2+}	-1,10	Sn/Sn^{2+}	-0,11	Hg/Hg^{2+}	+0,85
Zn/Zn^{2+}	-0,76	Pb/Pb^{2+}	-0,12	Au/Au^{+}	+1,50

Каждый металл — член этого ряда — будет катодом в отношении всех металлов, стоящих до него, и анодом в отношении всех последующих членов ряда. При отсутствии влияния других факторов каждый металл, стоящий в ряду напряжений, будет вытеснять из раствора ионы всех последующих металлов, а сам переходить в раствор. Таким образом, при электрохимической коррозии металла разрушающимися анодными участками являются участки с наименьшим электродным потенциалом растворения. Неразрушающиеся катодные участки характеризуются более высоким электродным потенциалом растворения. На анодных участках металл переходит в раствор в виде положительных заряженных ионов. Освобождающиеся на аноде электроны протекают к катодным участкам, где они разряжают положительно заряженные ионы электролита или же ионизируют кислород, образуя гидроксидные ионы. Следовательно, у катодных участков создается повышенная концентрация ионов металла, а у катодных вследствие разряда ионов водорода или восстановления содержащегося в воде молекулярного кислорода накапливаются ионы OH^{-} . Там, где встречаются продукты катодной и анодной ре-

акций, образуется гидрат закиси корродирующего металла — вторичный продукт коррозии. Например:



В некоторых случаях продукты коррозии могут претерпевать дальнейшие изменения, вступая во взаимодействие, например, с кислородом с образованием гидрата окиси железа либо с крепкой щелочью с образованием феррита натрия (NaFeO_2). Продукты коррозии образуют на поверхности разрушаемого металла достаточно плотный слой, который может в значительной мере снизить интенсивность коррозии или вовсе прекратить ее.

Электродвижущая сила любой гальванической пары равна алгебраической разности электродных потенциалов катода и анода:

$$\mathcal{E}_{ДС} = E = E_K - E_A, \quad (2-2)$$

где E_K — электродный потенциал электрода, на котором протекает катодная реакция и который в цепи является положительным электродом; E_A — электродный потенциал электрода, на котором протекает анодная реакция и который в цепи является отрицательным электродом.

Эта разность тем больше, чем дальше друг от друга расположены металлы в ряду напряжений. Например, в паре медь — цинк разность электродных потенциалов 1,10 в, в паре железо — цинк 0,32 в. Таким образом, электрохимический заряд напряжений дает важные указания относительно поведения металла в гальванической паре с другим металлом и в соприкосновении с раствором ионов другого металла. В условиях эксплуатации металлы большей частью не находятся в растворах собственных ионов; средой может служить конденсат, химически обработанная или котловая вода. Электродные потенциалы металлов в этих случаях отличаются от нормальных потенциалов.

На электродные потенциалы металлов с защитными пленками большое влияние оказывают характер этих пленок и, в частности, их электропроводность, количество и величина пор, толщина слоя. При наличии в защитной пленке многочисленных слабых мест, легко подвергающихся разрушению в электролите, в этих местах (порах) образуются гальванопары, где обнаженный ме-

талл, находящийся в контакте с раствором электролита, играет роль анода.

Неравномерное распределение продуктов коррозии на поверхности металла вызывает образование макропар. При этом процесс ржавления сосредоточивается под окислами железа, так как металл в этом месте выполняет роль анода, а вся остальная поверхность, лишённая окислов, является катодом. Чем меньше площадь, занятая продуктами коррозии, тем сильнее будет действовать образовавшаяся макрогальванопара по отношению к корродированным участкам, выполняющим роль анодов.

Скорость разрушения металла в язвках за счет тока указанной макропары в несколько раз превышает скорость общей коррозии металла.

Из изложенного выше следует, что одним из основных условий протекания коррозионного процесса является наличие электрохимической неоднородности поверхности раздела металла — электролит, качественно выражающееся разностью потенциалов на различных участках, образующих гальванические цепи.

Если бы электродные потенциалы анодных и катодных участков корродирующего металла сохраняли свою первоначальную величину, то разрушения металла в десятки, сотни и тысячи раз превышали бы действительно наблюдаемые. Эксперимент показывает, что действительная скорость коррозии во много раз меньше вычисленной по законам Ома и Фарадея на основании начальной разности потенциалов анода и катода. Оказывается, что уже через очень короткое время после замыкания электродов э. д. с. значительно уменьшается по сравнению с первоначальной. Уменьшение тока (и соответственно скорости коррозии) связано с изменением потенциалов сразу же после замыкания, т. е. как только пары начинают работать.

Уменьшение начальной разности потенциалов электродов гальванического коррозионного элемента, приводящее к уменьшению интенсивности коррозии, называется поляризацией. Поляризация тормозит работу коррозионных элементов и может уменьшать скорость коррозии в десятки и сотни раз.

Некоторые вещества, содержащиеся в питательной или котловой воде, могут вызывать усиление коррозии. Такие вещества называются ускорителями или

стимуляторами коррозии, наоборот, вещества, заметно снижающие скорость коррозии, называются замедлителями или ингибиторами коррозии.

Типичными стимуляторами коррозии являются ионы хлора, которые ослабляют защитные свойства пленок. Механизм их разрушающего действия состоит в следующем. Ионы хлора способны адсорбироваться (поглощаться) окисными пленками, расположенными на металле, и вытеснять из последних ионы кислорода. В результате такой замены ионов кислорода ионами хлора в точках абсорбции получается растворимое в воде хлористое железо, что приводит к увеличению площади анодных участков. К замедлителям коррозии стали следует причислить щелочи, например NaOH , Na_3PO_4 , Na_2HPO_4 и $(\text{NaPO}_3)_6$.

б) Влияние внутренних и внешних факторов на скорость коррозии

Скорость различных коррозионных процессов во времени характеризуется следующими типичными случаями: 1) коррозионный процесс протекает с постоянной скоростью, что имеет место при отсутствии защитных окисных пленок на поверхности металла; 2) коррозионный процесс характеризуется замедлением коррозии с течением времени в результате появления в ходе коррозионного процесса защитных пленок или усиления ранее существовавших; 3) коррозионный процесс характеризуется ускорением коррозии с течением времени в тех случаях, когда в самом ходе коррозии возникают причины, увеличивающие скорость коррозии (сюда относятся разрушение защитных пленок и увеличение числа микроэлементов).

Скорость коррозии выражают весом металла (g), разрушенного за единицу времени (час, год) на единице поверхности его (m^2), соприкасающейся с агрессивной средой, либо глубиной проникания коррозионных разрушений (mm) в глубину металлической стенки за единицу времени (год).

Допустимой скоростью коррозии следует считать такую, которая не угрожает надежности эксплуатации и не приводит к потере механической прочности оборудования до истечения его нормального срока службы. Допустимая скорость коррозии имеет различные значения:

в зависимости от того, является ли коррозия равномерной или местной, а также от вида последней (язвенная, межкристаллитная, избирательная).

Скорость коррозионного процесса и формы коррозионного поражения металла зависят от внутренних и внешних факторов, находящихся в сложном взаимодействии. К внутренним факторам относятся состав и структура металла, состояние его поверхности, наличие внутренних деформаций и напряжения. К внешним факторам, влияющим на скорость коррозии — среда, окружающая металл (кислород, свободная углекислота, электролиты), температура и т. п.

Состав и структура металла. Установлено, что начальные этапы коррозии на отполированной поверхности возникают значительно позже, чем на грубо обработанной. Поверхности стальных листов и труб, подвергнутые воздействию, изменяющему строение поверхностного слоя (например, местное истирание поверхности, удары молотком, действие напильников и т. п.), обнаруживают повышенную склонность к местной коррозии. Аналогичными по природе процесса являются разрушения, происходящие из-за структурной неоднородности материала листа, труб и других деталей парогенератора. Наличие в металле шлаковых, графитовых, серных включений и даже поверхностных отложений оксидов металла создает местные токи, обусловленные обр. зованием микро- и макрочувствительных элементов.

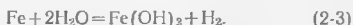
Детали паросилового оборудования подвергаются в эксплуатации сложным напряжениям, причем детали, которые изготовлены из деформированных материалов без последующего отжига, несут значительные внутренние напряжения, ухудшающие коррозионную стойкость металла.

В известных условиях металл приобретает состояние высокой химической стойкости, называемой пассивностью. Пассивное состояние металла обусловлено образованием на его поверхности прочной пленки оксидов, которая возникает в результате воздействия различных окислителей. Эта защитная пленка обладает высокой плотностью и хорошей адгезией к металлу; она не должна быть пористой и в ней должны отсутствовать напряжения и трещины. Следует иметь в виду, что пассивный металл при изменении внешних условий может снова перейти в активное состояние. По-

тсря пассивного состояния (депассивация) металла в некоторых средах обусловлена разрушающим действием среды на пленку и наличием в пленке пор.

Кислород. Особенностью кислородной коррозии является образование на поверхности металла язвы, т. е. резко выраженный локальный характер коррозии. Продукты коррозии обладают большим объемом, чем железо, из которого они образуются. Поэтому над углублениями при локальной коррозии нередко возникают бугорки, служащие признаком повреждения металла язвенной коррозией.

В водном растворе, не содержащем кислорода, железо растворяется с образованием гидрата закиси железа:



При наличии в растворе кислорода происходит окисление гидрата закиси железа в нерастворимый в воде гидрат окиси железа, который выпадает в осадок:



Чем выше концентрация кислорода в растворе, тем большая возможность имеется для образования на поверхности металла пассивирующих адсорбционных слоев и увеличения электродного потенциала. Вследствие этого участки металла, которые наиболее энергично снабжаются кислородом, выполняют роль катода по отношению к участкам поверхности металла, которые омываются водой с малой концентрацией кислорода. В результате возникает макрогальваническая пара неравномерной эрозии, под действием которой подтвергается разрушению та часть поверхности металла, которая получает меньше кислорода и, следовательно, выполняет роль анода. Этим свойством кислорода следует объяснить значительную локализацию кислородной коррозии: участки металла под ржавчиной получают мало кислорода, а потому являются местом усиленной коррозии, скорость же коррозии определяется площадью металла (катода), не защищенной от доступа кислорода.

Важную роль в развитии кислородной коррозии играет температурный фактор. Повышение температуры приводит, с одной стороны, к увеличению скорости диф-

фузии кислорода к поверхности металла, а с другой — к уменьшению растворимости кислорода. На рис. 2-4 изображены кривые, характеризующие зависимость общей скорости коррозии железа в воде от температуры для открытой системы, когда кислород может удаляться, и для замкнутой системы, когда кислород не может быть удален. В открытых системах интенсивность кислородной коррозии достигает максимума при 75—85°C. Характер такой зависимости определяется одновременным действием в противоположных направлениях двух факторов: с одной стороны, повышение скорости коррозии, а с другой — уменьшение растворимости кислорода с ростом температуры. При нагреве же воды в поверхностных подогревателях, где отсутствует отвод из воды агрессивных газов, скорость кислородной коррозии непрерывно возрастает почти по закону прямой линии.

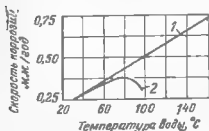


Рис. 2-4 Зависимость общей скорости коррозии от температуры

1 — замкнутая система; 2 — открытая система.

При значениях pH меньше 7 образующаяся рыхлая пленка окислов не имеет защитных свойств, вследствие чего диффузия кислорода к поверхности металла не тормозится и скорость кислородной коррозии железа не замедляется с течением времени. По мере повышения pH, т. е. роста концентрации гидроксильных ионов, защитная окисная пленка на железе становится более стойкой, что препятствует доступу растворенного кислорода к корродирующему металлу и способствует замедлению коррозии. При $\text{pH}=9,5\div 10,0$ коррозионный процесс в присутствии кислорода практически прекращается. Однако такое ослабление общего коррозионного процесса опасно. Наряду с уменьшением общих потерь металла коррозия последнего приобретает ярко выраженный местный характер вплоть до образования язвы. Таким образом, повышение pH воды, содержащей кислород, постепенно превращает равномерную коррозию стали в местную, и лишь при очень высоком значении pH коррозия прекращается. Чем выше температура воды, тем больше возрастает значение pH при котором металл пассивируется и коррозия прекращается.

Угольная кислота понижает рН воды вследствие ее диссоциации:



В конденсате турбин и теплонасоса концентрация CO_2 в количестве всего 0,3 мг/кг вызывает понижение рН до 5,5–6,0. Повышение в растворе концентрации ионов водорода создает возможность выделения его из катодов, что способствует активизации коррозионного процесса.

С ростом температуры увеличивается степень диссоциации угольной кислоты, что обуславливает понижение кислотности воды и резкое возрастание ее коррозионной агрессивности при одновременном сужении стойкости защитной пленки. Недопустимые размеры коррозии железа под действием воды, содержащей свободную углекислоту в отсутствие кислорода, наблюдаются при температуре выше 60–70 °С и значительной концентрации CO_2 . Подобная коррозия может иметь место в системе регенеративного подогрева питательной воды, особенно при плохом удалении неконденсирующихся газов. Присутствие в воде свободной углекислоты может явиться причиной коррозии медных и латунных труб. Эта коррозия сопровождается обесцинкованием последних и обогащением конденсата турбин ионами меди и цинка.

Характерной особенностью углекислотной коррозии стали является слабая связь продуктов коррозии с корродирующим металлом. Вследствие этого образующиеся окислы железа и меди уносятся потоком воды из тракта питательной воды в парогенераторы и образуют на поверхности нагрева опасные отложения. Причиной непрочного сцепления окислов с корродирующей поверхностью металла является восстанавливающее и отслаивающее действие на защитные окисные пленки атомарного и молекулярного водорода, образующегося на катодных участках. Этим свойством свободной угольной кислоты объясняется тот факт, что в ее присутствии кислородная коррозия котельного металла протекает практически без замедления процесса. Из-за нестойкости окисных пленок поступление кислорода к поверхности металла с течением времени не уменьшается и коррозия под действием его продолжается с неизменной скоростью.

На ниже в воде угольной кислоты и растворенного и торода обуславливает коррозию железа, протекающую одновременно с кислородной и водородной деполаризацией.

Вода, содержащая угольную кислоту, при комнатной температуре растворяет медь и латунь, но довольно медленно, в присутствии же кислорода процесс коррозии идет значительно быстрее. Вода, имеющая температуру выше 10—50°C и содержащая угольную кислоту, способна и при отсутствии кислорода вызывать коррозию латуни.

При полном отсутствии кислорода аммиак, оставшийся в паре или конденсате, практически не вызывает коррозии латуни даже при высоких его концентрациях. В присутствии кислорода даже небольшое количество аммиака (порядка 2—3 мг/кг) обуславливает избирательную коррозию латуни и других медных сплавов. При этом образуются хорошо растворимые и весьма стойкие медно-аммиачные комплексы $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]$ и $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{OH})_2]$.

Электролиты. В растворах солей коррозия носит ясно выраженный электрохимический характер и сводится к работе микроэлементов, причем с ростом концентрации солей скорость коррозии возрастает. Наиболее опасным является Cl^- , денатурирующий металлы и увеличивающий скорости коррозии почти всех металлов в результате ухудшения свойств защитных оксидных пленок. В сочетании с кислородом Cl^- даже в ничтожных концентрациях оказывает специфическое воздействие на напряженную аустенитную сталь, стимулируя так называемые хлоридные растрескивания, сопровождаемые межкристаллитной коррозией. Сульфаты практически не оказывают влияния на коррозию стали. Едкая щелочь при сравнительно невысоких концентрациях защищает углеродистые стали от коррозии, снижая pH; при концентрациях 3—5 % щелочи может вызвать пестротную коррозию этих сталей либо коррозию с растрескиванием углеродистых сталей. Коррозионные повреждения котельного металла, возникающие под действием нитратов и нитратов, имеют значительное сходство с кислородной коррозией.

Тепловые нагрузки. Установлено, что интенсивность коррозии поверхностей металла на обогреваемых участках в несколько раз больше, чем на необогреваемых. Влияние обогрева на усиление коррозии особенно

сильно сказывается в условиях действия коррозионно-агрессивной среды (повышение концентрации щелочи, присутствие кислорода, наличие окислов железа, внесенных питательной водой, и т. п.).

Причина неблагоприятного влияния теплового напряжения на поведение стали заключается прежде всего в разрушающем действии этого фактора на защитные пленки корродируемого металла. Главными причинами разрушения защитных пленок в этом случае, по-видимому, являются термические напряжения в пленках, механическое воздействие на них пузырьков пара, интенсивно образующихся на поверхности металла при больших тепловых нагрузках, и восстанавливающее действие на пленку атомарного водорода.

2-4. КОРРОЗИЯ ТРАКТА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ И КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ

Значительная часть коррозионных повреждений оборудования тепловых электростанций приходится на долю тракта питательной воды, где металл находится в наиболее тяжелых условиях, причиной чего является коррозионная агрессивность соприкасающихся с ним химически обработанной воды, конденсата, дистиллята и смеси их. На паротурбинных электростанциях основным источником загрязнения питательной воды соединениями меди является аммиачная коррозия конденсаторов турбин и регенеративных подогревателей низкого давления, трубная система которых выполнена из латуни.

Тракт питательной воды паротурбинной электростанции можно разделить на два основных участка: до термического деаэратора и после него, причем условия протекания в них коррозии резко различны. Элементы первого участка тракта питательной воды, расположенные до деаэратора, включают трубопроводы, бакл, конденсатные насосы, конденсаторопроводы и другое оборудование. Характерной особенностью коррозии этой части питательного тракта является отсутствие возможности истощения агрессивных агентов, т. е. угольной кислоты и кислорода, содержащихся в воде. Вследствие непрерывного поступления и движения новых порций воды по тракту происходит постоянное пополнение их убыли. Непрерывное удаление части продуктов реакции железа с водой и приток свежих порций агрессивных аген-

тов создают благоприятные условия для интенсивного протекания коррозионных процессов.

Источником появления кислорода в конденсате турбин являются присосы воздуха в хвостовой части турбины и в сальниках конденсатных насосов. Подогрев воды, содержащей O_2 и CO_2 в поверхностных подогревателях, расположенных на первом участке питательного тракта, до 60—80 °C и выше приводит к серьезным коррозионным повреждениям латунных труб. Постепенно становятся хрупкими, и нередко латунь после нескольких месяцев работы приобретает губчатую структуру в результате ярко выраженной избирательной коррозии.

Элементы второго участка тракта питательной воды — от деаэратора до парогенератора — включают питательные насосы и магистрали, регенеративные подогреватели и экономайзеры. Температура воды на этом участке в результате последовательного подогрева воды в регенеративных подогревателях и водяных экономайзерах приближается к температуре котловой воды. Причиной коррозии оборудования, относящегося к этой части тракта, является главным образом воздействие на металл растворенной в питательной воде свободной углекислоты, источником которой является добавочная химически обработанная вода. При повышенной концентрации ионов водорода ($pH < 7,0$), обусловленной наличием растворенной углекислоты и значительным подогревом воды, процесс коррозии на этом участке питательного тракта развивается преимущественно с выделением водорода. Коррозия имеет сравнительно равномерный характер.

При наличии оборудования, изготовленного из латуни (подогреватели низкого давления, конденсаторы), обогащение воды соединениями меди по пароконденсатному тракту протекает в присутствии кислорода и свободного аммиака. Увеличение растворимости гидратированной окиси меди происходит за счет образования медно-аммиачных комплексов, например, $Cu(NH_3)_4(OH)_2$. Эти продукты коррозии латунных трубок подогревателей низкого давления начинают разлагаться на участках тракта регенеративных подогревателей высокого давления (п. в. д.) с образованием менее растворимых окислов меди, частично осаждающихся на поверхности трубок п. в. д. Медистые отложения на трубках п. в. д.

способствуют их коррозии во время работы и длительной стоянки оборудования без консервации.

При недостаточно глубокой термической деаэрации питательной воды язвенная коррозия наблюдается преимущественно на входных участках экономайзеров, где кислород выделяется вследствие заметного повышения температуры питательной воды, а также в застойных участках питательного тракта.

Теплонпользующая аппаратура потребителей пара и трубопроводы, по которым возвращается производственный конденсат на ТЭЦ, подвергаются коррозии под действием содержащихся в нем кислорода и угольной кислоты. Появление кислорода объясняется контактом конденсата с воздухом в открытых баках (при открытой схеме сбора конденсата) и подсосами через неплотности в оборудовании.

Основными мероприятиями для предотвращения коррозии оборудования, расположенного на первом участке тракта питательной воды (от водоподготовительной установки до термического деаэратора), являются:

1) применение защитных противокоррозионных покрытий поверхностей водоподготовительного оборудования и бакового хозяйства, которые омываются растворами кислых реагентов или коррозионно-агрессивными водами с использованием резины, эпоксидных смол, лаков на перхлорвиниловой основе, жидкого найрита и силикона;

2) применение кислотостойких труб и арматуры, изготовленных из полимерных материалов (полиэтилена, полиизобутилена, полипропилена и др.) либо стальных труб и арматуры, футерованных внутри защитными покрытиями, наносимыми методом газопламенного напыления;

3) применение труб теплообменных аппаратов из коррозионностойких металлов (красная медь, нержавеющая сталь);

4) удаление свободной углекислоты из добавочной химически обработанной воды;

5) постоянный вывод неконденсирующихся газов (кислорода и угольной кислоты) из паровых камер регенеративных подогревателей низкого давления, охладителей и подогревателей сетевой воды и быстрый отвод образующегося в них конденсата;

6) тщательное уплотнение сальников конденсатных насосов, шпинделей арматуры и фланцевых соединений питательных трубопроводов, находящихся под вакуумом;

7) обеспечение достаточной герметичности конденсаторов турбин со стороны охлаждающей воды и воздуха и контроль за притоками воздуха с помощью регистрирующих кислородомеров;

8) оснащение конденсаторов специальными дегазационными устройствами с целью удаления кислорода из конденсата (см. гл. 6).

Для успешной борьбы с коррозией оборудования и трубопроводов, расположенных на втором участке тракта питательной воды (от термических деаэраторов до парогенераторов), применяются следующие меры защиты:

1) оснащение ТЭС термическими деаэраторами, выдающими при любых режимах работы деаэрированную воду с остаточным содержанием кислорода и углекислоты, не превышающим допустимые нормы (см. гл. 5 и 6);

2) максимальный вывод неконденсирующихся газов из паровых камер регенеративных подогревателей высокого давления;

3) применение коррозионностойких металлов для изготовления соприкасающихся с водой элементов питательных насосов;

4) противокоррозионная защита питательных и дренажных баков путем нанесения неметаллических покрытий, стойких при температурах до 80–100 °С, например асбобинила (смеси лака этиюль с сбефом) или лакокрасочных материалов на основе оксидных смол;

5) подбор коррозионностойких конструкционных металлов, пригодных для изготовления труб регенеративных подогревателей высокого давления;

6) постоянная обработка питательной воды щелочными реагентами с целью поддержания заданного оптимального значения рН питательной воды (см. гл. 5), при котором подавляется углекислотная коррозия и обеспечивается достаточная прочность защитной пленки;

7) постоянная обработка питательной воды гидразином для связывания остаточного кислорода после термических деаэраторов и создания ингибиторного эффек-

та торможения перехода соединений железа с поверхности оборудования в питательную воду (см. гл. 6);

8) герметизация баков питательной воды путем организации так называемой закрытой системы (см. гл. 6), чтобы предотвратить попадание кислорода с питательной водой в экономайзеры парогенераторов;

9) осуществление надежной консервации оборудования тракта питательной воды во время его простоя в резерве.

Современные энергоблоки с к. д., как правило, оборудуются регенеративными подогревателями питательной воды с трубами из стали (углеродистой или нержавеющей). Это обусловлено тем, что, как показал длительный опыт эксплуатации зарубежных блочных КЭС с к. д., основным источником медистых отложений в проточной части турбин являются регенеративные подогреватели, трубы которых изготовлены из медистых сплавов, подверженных коррозии.

Противокоррозионные защитные покрытия поверхностей оборудования и труб-проводов тракта питательной воды должны обладать высокой химической стойкостью в агрессивных средах, достаточной эластичностью и механической прочностью при высоких температурах, а также хорошей адгезией к металлу. Наличие эффективных защитных покрытий оборудования тракта питательной воды положительно сказывается на качестве питательной воды; содержание в ней окислов железа снижается на 30—50%.

Наиболее надежными защитными покрытиями для поверхностей оборудования являются вулканизированные резина, акриллированные по поверхности металла смолы полимеризующиеся в жидкой среде (полимеризуемый хлорпреновый каучук), наплавляемый на поверхность кистью или пневмический и трудноизносимый горячим способом; эпоксидные смолы и лаки, эпоксидные материалы на основе полиуретановых смол.

Для противокоррозионной защиты поверхностей баков, в которых приготавливают и хранят растворы концентратов и конденсатной воды, целесообразно использовать баки для хранения растворов гидразингидрата, а также баки для хранения (см. гл. 6), применяются эпоксидные шпательки, которые отличаются высокой адгезией к металлу, повышенной температурой плавления и высокой стойкостью.

Для защиты оборудования и труб-проводов, омываемых горячей водой или влажным паром (деаэризаторы, выходящие из турбин, корпуса конденсаторов), применяются покрытия из аллоуина и эпоксидных смол.

Высокой коррозионной стойкостью обладают бакки, изготовленные из алюминия и из алюминиевых сплавов, предназначенные для хранения химически обессоленной воды.

Отечественная промышленность освоила изготовление большого количества: а) полиэтиленовых труб, которые обладают высокой механической стойкостью и эластичностью; б) стальных труб, футерованных винилпластом или полиэтиленом, которые сохраняют почти окислительную стойкость при $t \leq 100^\circ\text{C}$; в) химически весьма стойких, но хрупких стеклянных труб.

Эффективным методом снижения концентрации продуктов коррозии в конденсате, возвращаемом на ТЭЦ



потребителями пара является вентилирование в отборный пар турбин, направляемый потребителям, пеникообразующих аминов — октадециламина или его заменителей. При концентрации этих веществ в паре, равной 2—3 мг/кг, можно снизить содержание оксидов железа в производственном конденсате в 10—15 раз. Дозирование водной эмульсии полиамминов с помощью насоса-дозатора не зависит от концентрации в конденсате угольной кислоты, так как действие их не связано с нейтрализующими свойствами, а основано на способности этих аминов образовывать на поверхности стали, латуни и других металлов нерастворимые и не смачиваемые водой пленки.

2-5. КОРРОЗИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

а) Коррозия парообразующих труб и барабанов парогенераторов во время их эксплуатации

Коррозионные повреждения металлов парогенераторов обусловлены действием одного или нескольких факторов: *чрезмерное тепловое напряжение поверхности нагрева, вялая циркуляция воды, застой пара, напряженный металл, отложения примесей и другие факторы, препятствующие нормальному омыванию и охлаждению поверхности нагрева.*

При отсутствии этих факторов нормальная магнетитная пленка легко образуется и сохраняется в воде с нейтральной или умеренно щелочной реакцией среды, не содержащей растворенного кислорода. В присутствии же O_2 кислородной коррозии могут подвергаться входные участки водяных экономайзеров, барабаны и опускные трубы циркуляционных контуров. Особенно отрицательно сказываются малые скорости движения воды ($w < 0,3$ м/сек) в водяных экономайзерах, так как при этом пузырьки выделяющегося воздуха задерживаются в местах шероховатостей внутренней поверхности труб и вызывают интенсивную местную кислородную коррозию.

Коррозия углеродистой стали в водной среде при высоких температурах включает две стадии: начальную электрохимическую и конечную химическую. Согласно этому механизму коррозии ионы двухвалентного железа диффундируют через оксидную пленку к поверхности контакта ее с водой, реагируют с гидроксидом или с во-

дой с образующимся гидратом закиси железа, который затем распадается на магнетит и водород по реакции



Электроны, проходящие наряду с ионами железа через окисную пленку, ассимилируются ионами водорода с выделением H_2 . С течением времени толщина окисной пленки увеличивается, а диффузия через нее затрудняется. Вследствие этого наблюдается уменьшение скорости коррозии со временем.

Нитритная коррозия. При наличии в питательной воде нитрита натрия наблюдается коррозия металла парогенератора, имеющая по внешнему виду большое сходство с кислородной коррозией. Однако в отличие от нее нитритная коррозия поражает не входные участки опускных труб, а внутреннюю поверхность теплонапряженных подъемных труб и вызывает образование более глубоких язвин диаметром до 15—20 мм. Нитриты ускоряют протекание катодного процесса, а тем самым и коррозию металла парогенератора. Течение процесса при нитритной коррозии может быть описано следующей реакцией:



Гальванокоррозия металла парогенератора. Источником гальванокоррозии паросбразующих труб может явиться медь, попадающая в парогенераторы в тех случаях, когда питательная вода, содержащая повышенное количество аммиака, кислорода и свободной углекислоты, агрессивно воздействуют на латунные и медные трубы регенеративных подогревателей. Необходимо отметить, что гальванокоррозию может вызвать лишь металлическая медь, отложившаяся на стенках парогенератора. При поддержании значения pH питательной воды выше 7,6 медь поступает в парогенераторы в форме окислов или комплексных соединений, которые не обладают коррозионноагрессивными свойствами и отлагаются на поверхностях нагрева в виде шлама. Ионы меди, присутствующие в питательной воде с низким значением pH, попадая далее в парогенератор, в условиях щелочной среды также осаждаются в виде шламобразных окислов меди. Однако под действием выделяющегося в парогенераторах водорода эти извлекаются в виде сульфата натрия окислы меди могут переходить в

становливаясь до металлической меди, которая, отложившись на поверхностях нагрева, приводит к электрохимической коррозии котельного металла.

Подшламовая (ракушечная) коррозия. Подшламовая коррозия возникает в застойных зонах циркуляционного контура парогенератора под слоем шлама, состоящего из продуктов коррозии металлов и фосфатной обработки котловой воды. Если эти отложения сосредоточены на обогреваемых участках, то под ними возникает интенсивное упаривание, повышающее соле-содержание и щелочность котловой воды до опасных значений.

Подшламовая коррозия распространяется в виде больших язвин диаметром до 50—60 мм на внутренней стороне паробразующих труб, обращенной к факелу топки. В пределах язвин наблюдается сравнительно равномерное уменьшение толщины стенки трубы, часто приводящее к образованию свищей. На язвах обнаруживается плотный слой окислов железа в виде ракушек. Описанное разрушение металла получило в литературе название «ракушечной» коррозии. Подшламовая коррозия, вызываемая окислами трехвалентного железа и двухвалентной меди, является примером комбинированного разрушения металла; первая стадия этого процесса является чисто электрохимической, а вторая — химической, обусловленной действием воды и водяного пара на перегретые участки металла, находящиеся под слоем шлама. Наиболее эффективным средством борьбы с «ракушечной» коррозией парогенераторов является предотвращение возникновения коррозии тракта питательной воды и выноса из него окислов железа и меди с питательной водой.

Щелочная коррозия. Растворение пароводяной смеси, которое имеет место в горизонтальных или слабо-наклонных паробразующих трубах, как известно, сопровождается образованием паровых мешков, перегревом металла и глубоким упариванием пленки котловой воды. Образовавшаяся при упаривании котловой воды высококонцентрированная пленка содержит в растворе значительное количество щелочи. Едкий натр, присутствующий в котловой воде в малых концентрациях, защищает металл от коррозии, но он становится весьма опасным коррозионным фактором, если на каких-либо участках поверхности парогенератора создаются условия для

глубокого упаривания котловой воды с образованием повышенной концентрации NaOH .

Концентрация едкого натра в упариваемой пленке котловой воды зависит от:

а) степени перегрева стенки парообразующей трубы по сравнению с температурой кипения при данном давлении в парогенераторе, т. е. величины Δt_s (см. § 3-3);

б) величин соотношений концентрации едкого натра и содержащихся в циркулирующей воде натриевых солей, обладающих способностью сильно повышать температуру кипения воды при данном давлении.

Если концентрация хлоридов в котловой воде значительно превышает в эквивалентном отношении концентрацию NaOH , то раньше, чем последняя достигает в упаривающейся пленке опасных значений, содержание хлоридов в ней настолько возрастает, что температура кипения раствора превышает температуру перегретой стенки трубы и дальнейшее выпаривание воды прекращается. Если же котловая вода содержит преимущественно едкий натр, то при величине $\Delta t_s = 7^\circ\text{C}$ концентрации NaOH в пленке концентрированной воды составляет 10%, а при $\Delta t_s = 30^\circ\text{C}$ достигает 35%. Между тем экспериментальным путем установлено, что уже 5—10%-ные растворы едкого натра при температуре котловой воды выше 200°C способны интенсивно корродировать металл обогреваемых участков и сварных швов с образованием рыхлой магнитной закиси-окиси железа и одновременным выделением водорода. Щелочная коррозия имеет избирательный характер, протыкаясь в глубь металла преимущественно по зернам перлита и образуя сетку межкристаллитных трещин. Концентрированные растворы едкого натра способны также при высоких температурах растворять защитный слой окислов железа с образованием феррита натрия NaFeO_2 , который гидролизуется с образованием щелочи:



Вследствие того, что щелочь в этом круговом процессе не расходуется, создается возможность непрерывного протекания коррозионного процесса. Чем выше температура котловой воды и концентрация едкого натра, тем интенсивнее протекает процесс щелочной коррозии. Установлено, что концентрированные растворы едкого

патра не только разрушают защитную магнетитную пленку, но и затягивают ее в состоянии после повреждения.

Источником щелочной коррозии парогенераторов могут также явиться шламоотложения, способствующие глубокому упариванию котловой воды с образованием высококонцентрированного коррозионноагрессивного раствора щелочи. Уменьшение относительной доли щелочи в общем солесодержании котловой воды и создание преобладающего содержания в последней таких солей, как хлориды, способны резко ослабить щелочную коррозию котельного металла. Устранение щелочной коррозии достигается также обеспечением чистоты поверхности нагрева и интенсивной циркуляцией на всех участках парогенератора, которая предотвращает глубокое упаривание воды.

Межкристаллитная коррозия. Межкристаллитная коррозия появляется в результате взаимодействия котельного металла со щелочной котловой водой. Характерная особенность межкристаллитных трещин в том, что они возникают в местах наибольших напряжений в металле. Механические напряжения складываются из внутренних напряжений, возникающих в процессе изготовления и монтажа парогенераторов барабанного типа, а также дополнительных напряжений, возникающих в процессе эксплуатации. Решающую роль в образовании межкристаллитных кольцевых трещин на трубах играют дополнительные статические механические напряжения. Эти напряжения возникают в трубных контурах и в барабанах парогенератора при недостаточной компенсации температурных удлинений, а также вследствие неравномерного обогрева или охлаждения отдельных участков тела барабана или коллектора.

Межкристаллитная коррозия протекает с некоторым ускорением в начальный период разрушения металла происходит очень медленно и без деформации, а затем с течением времени скорость его резко возрастает и может принять катастрофические размеры. Межкристаллитную коррозию котельного металла нужно рассматривать прежде всего как частный случай электрохимической коррозии, протекающей по границам зерен напряженного металла, находящегося в контакте со щелочным концентратом котловой воды. Появление коррозионных микрогальванических элементов

вызывается различием потенциалов между телами кристаллитов, выполняющих роль катодов. Роль анодов выполняют разрушающиеся грани зерен, потенциал которых вследствие механических напряжений металла в этом месте сильно понижен.

Наряду с электрохимическими процессами существенную роль в развитии межкристаллитной коррозии играет атомарный водород, продукт разряда H^+ -ионов на катоде коррозионных элементов; легко диффундируя в толщу стали, он разрушает карбиды и создает большие внутренние напряжения в котельном металле вследствие появления в металле метана, что приводит к образованию тонких межкристаллитных трещин (водородное растрескивание). Кроме того, во время реакции водорода с включениями стали образуются различные газообразные продукты, что в свою очередь вызывает дополнительные разрывные усилия и способствует разрыхлению структуры, углублению, расщеплению и разветвлению трещин.

Основным путем предотвращения водородной коррозии котельного металла является устранение любых коррозионных процессов, приводящих к образованию атомарного водорода. Это достигается ослаблением напоя в парогенераторе окислов железа и меди, химической очисткой котлов, улучшением циркуляции воды и снижением местных повышенных тепловых нагрузок поверхности нагрева.

Установлено, что межкристаллитная коррозия котельного металла в соединениях элементов парогенераторов возникает лишь при одновременном наличии местных растягивающих напряжений, близких или превышающих предел текучести, и при концентрации $NaOH$ в котловой воде, накапливающейся в неплотностях соединений элементов котла, превышающей 5—6%. Для развития межкристаллитных разрушений котельного металла существенное значение имеет не абсолютная величина щелочности, а доля едкого натра в общем солевом составе котловой воды. Установлено опытным путем, что если эта доля, т. е. относительная концентрация едкого натра в котловой воде, составляет менее 10—15% от суммы минеральных растворимых веществ, то такая вода, как правило, не является агрессивной.

Пароводяная коррозия. В местах с дефективной циркуляцией, где пар застаивается и не сразу

отводятся в барабан, стенки труб под паровыми мешками подвергаются сильному местному перегреву. Это приводит к химической коррозии перегретого до 450°C и выше металла парообразующих труб под действием высокоперегретого пара. Процесс коррозии углеродистой стали в высокоперегретом водяном паре (при температуре, равной 450—470°C) сводится к образованию Fe_3O_4 и газообразного водорода:



Отсюда следует, что критерием интенсивности пароводяной коррозии котельного металла является увеличение содержания свободного водорода в насыщенном паре. Пароводяная коррозия парообразующих труб наблюдается, как правило, в зонах резкого колебания температуры стенки, где имеют место теплосмены, вызывающие разрушение защитной окисной пленки. При этом создается возможность непосредственного контакта перегретого металла трубы с водой или водяным паром и химического взаимодействия между ними.

Коррозионная усталость. В барабанах парогенераторов и котельных трубах в том случае, если на металл действуют одновременно с коррозионной средой термические напряжения, переменные по знаку и величине, появляются глубокие проникающие в сталь трещины коррозионной усталости, которые могут иметь транскристаллитный, межкристаллитный либо смешанный характер. Как правило, растрескиванию котельного металла предшествует разрушение защитной окисной пленки, что ведет к значительной электрохимической неоднородности и как следствие к развитию местной коррозии.

В барабанах парогенераторов трещины коррозионной усталости возникают при попеременном нагреве и охлаждении металла на небольших участках в местах соединения трубопроводов (питательной воды, периодической продувки, ввода раствора фосфата) и водоуказательных колонок с телом барабана. Во всех этих соединениях металл барабана охлаждается, если температура протекающей по трубе питательной воды меньше температуры насыщения при давлении в парогенераторе. Местное охлаждение стенок барабана с последующим обогревом их горячей котловой водой (в моменты

прекращения питания) всегда сопряжено с появлением в металле высоких внутренних напряжений

Коррозионное растрескивание стали резко усиливается в условиях попеременного смачивания и высыхания поверхности, а также в тех случаях, когда движение по трубе пароводяной смеси имеет пульсирующий характер, т. е. часто и резко изменяются скорость движения пароводяной смеси и ее паросодержание, а также при своеобразном расслоении пароводяной смеси на отдельные «пробки» пара и воды, следующие друг за другом.

б) Коррозия пароперегревателей

Скорость пароводяной коррозии определяется преимущественно температурой пара и составом контактирующего с ним металла. Существенное значение в ее развитии имеют также величины теплообмена и температурных колебаний при работе пароперегревателя, вследствие которых может наблюдаться разрушение защитных окисных пленок. В среде перегретого пара с температурой больше 575°C на поверхности стали в результате пароводяной коррозии образуется FeO (вюстит);



который при более низких температурах распадается по реакции



Установлено, что трубы, изготовленные из обычной малоуглеродистой стали, находясь в течение длительного времени под воздействием высокоперегретого пара, равномерно разрушаются с одновременным перерождением структуры металла и образованием плотного слоя окисины. В пароперегревателях сверхвысокого и сверхкритического давлений при температуре перегрева пара 550°C и выше наиболее теплонапряженные элементы пароперегревателя (выходные участки) обычно изготовляют из теплостойких аустенитных нержавеющей сталей (хромоникелевых, хромомолибденовых и др.). Эти стали в условиях совместного действия растягивающих напряжений и коррозионноагрессивной среды подвержены растрескиванию. Большинство эксплуатационных повреждений пароперегревателей, характеризующихся

коррозионным растрескиванием элементов из аустенитных сталей, обусловлено присутствием в паре хлоридов и едкого натра. Борьба с коррозионным растрескиванием деталей из аустенитных сталей осуществляется главным образом посредством поддержания безопасного водного режима парогенераторов (см. гл. 5).

в) «Стояночная» коррозия парогенераторов

При простоях парогенераторов или другого паросилового оборудования в холодном или горячем резерве либо на ремонте на поверхности металла под действием кислорода воздуха или влаги развивается так называемая «стояночная» коррозия. По этой причине простои оборудования без применения должных защитных мер от коррозии часто приводят к серьезным повреждениям, особенно в парогенераторах. Сильно страдают от стояночной коррозии пароперегреватели и преобразующие трубы переходных зон примоточных парогенераторов.

Одной из причин стояночной коррозии внутренней поверхности парогенераторов является накопление их во время простоев водой, насыщенной кислородом. В этом случае особенно подвержен коррозии металл на границе вода — воздух. Если же парогенератор, оставленный на ремонт, полностью дренируется, то на внутренней поверхности его всегда остается пленка влаги при одновременном доступе кислорода, который, легко диффундируя через эту пленку, вызывает активную электрохимическую коррозию металла. Тонкая пленка влаги сохраняется довольно долго, так как атмосфера внутри парогенератора насыщена парами воды, особенно в том случае, если в него попадает пар через неплотности арматуры параллельно работающим парогенераторам. Если в воде, заполняющей резервуар парогенератора, присутствуют хлориды, то это приводит к увеличению скорости равномерной коррозии металла, а если в ней содержится незначительное количество щелочи (меньше 100 мг/кг NaOH) и кислород, то это способствует развитию язвенной коррозии.

Развитию «стояночной» коррозии способствует также накапливающийся в парогенераторе шлак, который обычно удерживает влагу. По этой причине значительные коррозионные раковины часто обнаруживаются в барабанах вдоль нижней образующей по их концам,

г. е. на участках наибольшего скопления шлама. Особенно сильно подвержены коррозии участки внутренней поверхности парогенераторов, которые покрыты водорастворимыми солевыми отложениями, например змеевики пароперегревателей и переходная зона в проточных парогенераторах. Во время простоев парогенераторов эти отложения поглощают атмосферную влагу и расплываются с образованием на поверхности металла высококонцентрированного раствора натриевых солей, имеющего большую электропроводность. При свободном доступе воздуха процесс коррозии под солевыми отложениями протекает весьма интенсивно. *Весьма существенным является то, что стояночная коррозия усиливает процесс разъедания котельного металла во время работы парогенератора.* Это обстоятельство следует считать главной опасностью стояночной коррозии. Образующаяся ржавчина, состоящая из оксидов железа высокой валентности $\text{Fe}(\text{OH})_3$, во время работы парогенератора играет роль деполяризатора коррозионных микро- и макрогальванических пар, что ведет к интенсификации коррозии металла в процессе эксплуатации агрегата. В конечном счете накопление ржавчины на поверхности котельного металла приводит к подшламовой коррозии. Помимо этого, при последующем простое агрегата восстановленная ржавчина опять приобретает способность вызывать коррозию вследствие поглощения ею кислорода воздуха. Эти процессы циклически повторяются при чередовании простоев и работы парогенераторов.

Средствами защиты парогенераторов от стояночной коррозии в периоды их простоя в резерве и на ремонте служат различные методы консервации.

Мокрая консервация осуществляется путем заполнения объема консервирующими растворами, способными создать на металле пассивный слой, который толще сохранить свои защитные свойства на протяжении всего периода остановки парогенератора. В заполняющую парогенератор питательную воду с помощью плунжерного насоса дозируется раствор щелочи из расчета 2—3 кг NaOH и 5—10 кг Na_2PO_4 на 1 м³ воды с добавлением 1 кг NH_4OH , либо 10%-ный раствор гидразингидрата, обеспечивающий концентрацию его в воде, равную 200 мг/кг N_2H_4 . Мокрая консервация позволяет проводить быструю расконсервацию парогенератора и его растопку. Однако этот метод консервации мо-

жет применяться только на тех тепловых электростанциях, где в паре отсутствует свободная CO_2 .

В целях защиты элементов парогенератора от стояночной коррозии во время продолжительного капитального ремонта достаточно смочить внутреннюю поверхность его стенок 1—3%-ным раствором нитрита натрия (NaNO_2) с добавкой раствора аммиака концентрацией 0,5% или карбоната аммония. При продолжительности обработки поверхности металла указанными ингибиторами в течение 20—24 ч их защитное действие достигает 60—75 суток. Перед пуском парогенератора в работу пленка нитрита с внутренней стороны его стенок должна быть смыта водой.

Сухая консервация парогенераторов может быть также осуществлена путем заполнения их объема (в том числе пароперегревателей) азотом, подаваемым из баллонов. При заполнении парогенератора азотом необходимо в течение всего времени простоя поддерживать в нем избыточное давление 6 кгс/см². Эффективное предотвращение стояночной коррозии может быть обеспечено при соотношении объемов азота и воды в парогенераторе, равном или большем 2:1 на любой стадии консервации. Уточка азота из парогенератора должна непрерывно восполняться.

2-6. КОРРОЗИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Металл проточной части турбины может в процессе работы подвергаться коррозии в зоне конденсации пара, особенно при наличии в нем углекислоты, растрескиванию вследствие наличия в паре коррозионных агентов и стояночной коррозии при нахождении турбины в резерве или на ремонте. Особенно сильно подвергается стояночной коррозии проточная часть турбины при наличии в ней солевых отложений. Образующийся во время простоя турбины солевой раствор ускоряет развитие коррозии. Отсюда вытекает необходимость тщательной очистки от отложений лопаточного аппарата турбины перед длительным простоем ее.

Коррозия в период простоя обычно имеет сравнительно равномерный характер; при неблагоприятных условиях она проявляется в виде многочисленных язв, равномерно распределенных по поверхности металла. Местом протекания ее являются те ступени, где конден-

сируется влага, агрессивно воздействующая на стальные детали проточной части турбины.

Источником появления влаги является прежде всего конденсация пара, заполняющего турбину после ее остановки. Конденсат частично остается на лопатках и диафрагмах, а частично стекает и скапливается в корпусе турбины, так как он не отводится через дренажи. Количество влаги внутри турбины может увеличиваться вследствие просачивания пара из паропроводов отборов и противодавления. Внутренние части турбины всегда холоднее поступающего в турбину воздуха. Относительная влажность воздуха машинного зала весьма высока, поэтому достаточно незначительного охлаждения воздуха, чтобы наступили точка росы и выделение влаги на металлических деталях.

Для устранения «стояночной» коррозии паровых турбин необходимо исключить возможность попадания пара в турбины во время нахождения их в резерве как со стороны паропровода перегретого пара, так и со стороны магистрали отборов, дренажных линий и т. д. Для поддержания поверхности лопаток, дисков и ротора в сухом виде применяется периодическое продувание внутренней полости резервной турбины током горячего воздуха ($t = 80 - 100^{\circ}\text{C}$), подаваемого небольшим вспомогательным вентилятором через нагреватель (электрический или паровой).

2-7. КОРРОЗИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

В условиях эксплуатации паросиловых установок нередко наблюдаются случаи коррозионных повреждений латунных конденсаторных труб как с внутренней стороны, омываемой охлаждающей водой, так и с наружной стороны. Интенсивно корродируют внутренние поверхности конденсаторных труб, охлаждаемые сильно минерализованными морскими и солоно-озерными водами, содержащими большое количество хлоридов, либо обратными циркуляционными водами с повышенной минерализацией и загрязненными взвешенными частицами.

Характерной особенностью латуни как конструкционного материала является склонность ее к коррозии при совместном действии повышенных механических напряжений и среды, обладающей даже умеренными

агрессивными свойствами. Коррозионные повреждения проявляются в конденсаторах с латунными трубами в форме общего обесцинкования, пробочного обесцинкования, коррозионного растрескивания, ударной коррозии и коррозионной усталости. На протекание отмеченных выше форм коррозии латуни решающее воздействие оказывают состав сплава, технология изготовления конденсаторных труб и характер контактируемой среды.

Вследствие обесцинкования разрушение поверхности латунных труб может носить сплошной слоевой характер или принадлежать к так называемому пробочному типу, являющемуся наиболее опасным. Пробочное обесцинкование характеризуется углубляющимися в металл язвинами, заполненными рыхлой медью. Наличие сквозных свищей вызывает необходимость замены трубы во избежание присоса охлаждающей сырой воды в конденсат.

Проведенные исследования, а также длительные наблюдения за состоянием поверхности конденсаторных труб в действующих конденсаторах показали, что дополнительное введение в латунь небольших количеств мышьяка заметно снижает склонность латуней к обесцинкованию. Сложные по составу латуни, дополнительно легированные оловом или алюминием, также обладают повышенной коррозионной стойкостью благодаря способности этих сплавов быстро восстанавливать защитные пленки при их механическом разрушении. Вследствие применения металлов, занимающих различные места в потенциальном ряду и электрически соединенных, в конденсаторе возникают макроэлементы. Наличие переменного температурного поля создает возможность развития коррозионноопасных э. д. с. термоэлектрического происхождения. Блуждающие токи, возникающие при заземлении вблизи постоянного тока, также могут явиться причиной интенсивной коррозии конденсаторов.

Коррозионные повреждения конденсаторных труб со стороны конденсирующегося пара чаще всего бывают связаны с присутствием в нем аммиака. Последний, будучи хорошим комплексообразователем по отношению к ионам меди и цинка, создает благоприятные условия для обесцинкования латуни. Кроме того, аммиак обуславливает коррозионное растрескивание латунных конденсаторных труб при наличии в сплаве внут-

ренных и/или внешних растягивающих напряжений, которые по тепенно расширяют трещины по мере развития коррозионного процесса. Установлено, что при отсутствии кислорода и других окислителей растворы аммиака не могут агрессивно воздействовать на медь и ее сплавы; поэтому можно не опасаться аммиачной коррозии латунных труб при концентрации аммиака в конденсате до 10 мг/кг и отсутствии кислорода. При наличии же даже небольшого количества кислорода аммиак разрушает латунь и другие медные сплавы при концентрации 2—3 мг/кг.

Коррозии со стороны пара в первую очередь могут подвергаться латунные трубы охладителей выпара, эжекторов и камер отсоса воздуха конденсаторов турбин, где создаются условия, благоприятствующие попаданию воздуха и возникновению местных повышенных концентраций аммиака в частично сконденсированном паре.

Для предотвращения коррозии конденсаторных труб с водяной стороны необходимо в каждом конкретном случае при выборе металла или сплавов, пригодных для изготовления этих труб, учитывать их коррозионную стойкость при заданном составе охлаждающей воды. Особо серьезное внимание выбору коррозионностойких материалов для изготовления конденсаторных труб должно быть уделено в тех случаях, когда конденсаторы охлаждаются проточной морской водой, а также в условиях восполнения потерь охлаждающей воды в оборотных системах водоснабжения ТЭС пресными водами, обладающими повышенной минерализованностью либо загрязненными коррозионноагрессивными промышленными и бытовыми стоками.

В зависимости от состава охлаждающей воды отечественные заводы — поставщики конденсаторов ориентируются на применение конденсаторных труб из следующих медных сплавов.

а) латунь Л-68 применяется для изготовления конденсаторных труб, охлаждаемых матоминерализованной пресной водой с общим содержанием 300—500 мг/кг при незначительном содержании взвешенных веществ.

б) латуни оловянистая ЛО-70 I или мышьяковистая ЛМш 68-0,06 применяются для изготовления конденсаторных труб, охлаждаемых маломинерализованной пресной водой с содержанием до 300 мг/кг, немного загрязненной кистыми стоками либо пресной водой с содержанием до 1000 мг/кг.

в) латуни мышьяковисто-оловянистые ЛОМш-70-1-0,06 или мышьяковисто-алюминиевые

ЛАМш-77-2-0,06 — для высокоминерализованных пресных вод с общим содержанием до 3000 мг/кг;

г) медно-никелево-железистый МНЖ-5-1 или медно-никелево-железисто-марганцевый МНЖМу-5,1-0,8 сплавы — для солончатых пресных вод с содержанием до 5000 мг/кг при умеренном содержании в них твердых примесей (песка, золы);

д) медно-никелевый МН-70-30 или медно-никелево-железисто-марганцевый МНЖМу-30-0,8-1 сплавы — для морской воды, а также солоноватых пресных вод, содержащих абразивные примеси.

За последние годы на многих зарубежных блочных КЭС сверхкритических давлений установлены конденсаторы с трубами из аустенитной хромоникелевой стали (8-12% Ni), которые обладают повышенной стойкостью к эрозионным повреждениям труб как с паровой, так и с водяной сторон.

Следует, однако, учитывать, что наличие на стенках стальных труб пористых железистых отложений, а также плотных карбонатных отложений, покрывающих отдельные участки поверхности труб, приводит к интенсивной язвенной коррозии труб, особенно на неподвижной воде или малой ее скорости. Поэтому на тех электростанциях, где конденсаторы оснащены трубами из нержавеющей стали, для поддержания их чистоты применяются методы стабилизации и хлорирования охлаждающей воды (см. гл. II). В период кратковременных остановок турбин осуществляется рециркуляция охлаждающей воды, а перед длительной остановкой после прекращения подачи охлаждающей воды производится промывка конденсатора осветленной водой.

Для того чтобы предотвратить или ослабить аммиачную коррозию или коррозионное растрескивание наружной поверхности латунного трубного пучка, размещенного в воздухоохладительной секции конденсатора, необходимо:

а) обеспечить интенсивную вентиляцию парового пространства путем рационального размещения мест отсоса воздуха, что приведет к значительному снижению концентрации газообразного аммиака в конденсаторе;

б) принять меры к максимальному сокращению притоков воздуха как в конденсаторе, так и в хвостовой части турбины.

Аммиачная коррозия в эжекторах и камерах охлаждения паровоздушной смеси может быть предотвращена установкой в этих зонах труб из медно-никелевых сплавов либо из нержавеющей хромистой стали.

2-8. КОРРОЗИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Внутренняя коррозия тепловых сетей вызывается наличием в сетевой воде или конденсате растворенного кислорода и угольной кислоты, которые попадают в систему с добавочной химически очищенной либо омагниченной водой, восполняющей утечки в сети, а также вследствие засосов воздуха через неплотности при наличии разрежения в трубах. В состав тепловых сетей входят следующие элементы, подвергающиеся коррозии: система подогревателей, трубопроводов, насосов и прочего вспомогательного оборудования. Особенно подвержены коррозии системы тепловых сетей с непосредственным разбором горячей воды, характеризующиеся частично или полностью разомкнутой схемой движения воды, которая расходуется потребителями на различные хозяйственно-бытовые нужды.

Основные закономерности и характер коррозии оборудования тепловых сетей имеют много общего с протеканием коррозионных разрушений элементов тракта питательной воды, расположенных до деаэратора.

В присутствии кислорода, растворенного в слабощелочной транспортируемой воде, коррозия металла приобретает резко выраженный местный, язвенный характер при скоплении продуктов коррозии на поверхности корродируемого металла. В нейтральной среде преобладает сравнительно равномерная коррозия стенок труб.

Коррозия подогревателей наблюдается чаще всего со стороны греющего пара и вызывается главным образом содержанием угольной кислоты в конденсате. Известны случаи интенсивного обесцинкования латунных труб отопительных подогревателей при подаче в теплотель недеаэрированной известкованной воды.

В целях предотвращения опасной коррозии элементов теплофикационного оборудования на практике осуществляются следующие мероприятия:

а) *стабильное поддержание заданных эксплуатационных норм допустимого содержания O_2 , CO_2 , взвешен-*

ных веществ, солей ж. кислоты и щелочи (рН) в дозах очищенной и сетевой водах;

б) оснащение сетевых подгрупп ателей трубами из коррозионно стойких металлов (латунь, медь);

в) применение защитных покрытий на внутренней поверхности труб проходов, баков, дегазаторов и одо-подготовительного оборудования теплофикационной системы либо материалов, обладающих более благоприятной противокоррозионной стойкостью по сравнению с углеродистой сталью.

Особое внимание следует уделять защите теплоты от попадания в систему воздух через аккумуляторные баки, неплотности сальниковых уплотнений перекачивающих и подмешивающих насосов и верхние точки отопительных систем. Кроме того, должно осуществляться систематический контроль за коррозией тепловых сетей путем установки достаточного количества индикаторов коррозии и вырезки образцов труб, что позволяет своевременно и правильно оценивать состояние внутренних поверхностей коммуникаций теплофикационных систем.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОТЛОЖЕНИЯ В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ И ТЕПЛООБМЕННИКАХ И СПОСОБЫ ИХ УДАЛЕНИЯ

3-1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Различные примеси, содержащиеся в агрегированной и испаряемой воде, могут выделяться в твердую фазу на внутренних поверхностях парогенераторов, испарителей, паропреобразователей, подогревателей и конденсаторов паровых турбин в виде накипи, а в три водяной массы — в виде взвешенного шлама. Нельзя, однако, провести четкую границу между накипью и шламом, так как вещества, отлагающиеся на поверхности нагрева в форме накипи, могут с течением времени превращаться в шлам, наоборот, шлам при некоторых условиях может прикипать к поверхностям нагрева, образуя накипь.

Из элементов парогенератора загрязнению внутренних поверхностей больше всего подвержены обогреваемые экраны трубы. Образование отложений на внут-

реиних поверхностях парособразующих труб влечет за собой ухудшение теплопередачи и как следствие опасный перегрев металла труб. Как известно, температура стенки со стороны газов при загрязненной накипью поверхности определяется из уравнения

$$t_{ст} = t_n + q \left(\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{нап}}{\lambda_{нап}} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \quad (3-1)$$

где $t_{ст}$ — температура стенки, °C; t_n — температура насыщения (кипящей воды), °C; q — плотность теплового потока, Вт/м²; $\delta_{ст}$ и $\delta_{нап}$ — толщина стенки и слоя накипи, м; $\lambda_{ст}$ и $\lambda_{нап}$ — коэффициенты теплопроводности стенки и слоя накипи, Вт/(м·°C); α_2 — коэффициент теплоотдачи от накипи к воде, Вт/м²·°C.

Как видно из приведенного уравнения, температура стенки пропорциональна плотности теплового потока и толщине накипи и обратно пропорциональна коэффициенту теплопроводности ее.

Радиационные поверхности нагрева современных парогенераторов интенсивно обогреваются топчным факелом. Плотность теплового потока в них достигает 600—700 кВт/м², а местные тепловые потоки могут быть еще выше. Поэтому даже кратковременное ухудшение коэффициента теплоотдачи от стенки к кипящей воде приводит к столь значительному росту температуры стенки трубы (500—600°C и выше), что прочность металла может оказаться недостаточной, чтобы выдержать возникшие в нем напряжения. Следствием этого являются повреждения металла, характеризующиеся появлением отдулин, свищей, а нередко и разрывом труб.

При резких температурных колебаниях в стенках паробразующих труб, которые могут иметь место в процессе эксплуатации парогенератора, накипь отслаивается от стенок в виде хрупких и плотных чешуек, которые заносятся потоком циркулирующей воды в места с замедленной циркуляцией. Там происходит осаждение их в виде беспорядочного скопления кусочков различных величин и формы, сцементированных шлаком в более или менее плотные образования. Если в парогенераторе барабанного типа имеются горизонтальные или слабонаклонные участки паробразующих труб с вялой циркуляцией, то в них обычно происходит скопление отложений рыхлого шлака. Сужение сечения для прохода воды или полная закупорка паробразующих труб при-

водят к нарушению циркуляции. В так называемой переходной зоне прямоточного парогенератора докритического давления, где испаряются последние остатки влаги и осуществляется небольшой перегрев пара, образуются отложения соединений кальция, магния и продуктов коррозии. При этом на полупериметре парообразующей трубы, обращенном в топку («огневая» сторона), отложений в 2—3 раза больше, чем на ее стороне, прилегающей к стенке топочной камеры («тыльная» сторона).

Поскольку прямоточный парогенератор является эффективной ловушкой труднорастворимых соединений кальция, магния, железа и меди, то при повышенном содержании их в питательной воде они быстро накапливаются в трубной части, что значительно сокращает продолжительность рабочей кампании парогенератора.

Для того чтобы обеспечить минимальные отложения как в зонах максимальных тепловых нагрузок парообразующих труб, так и в проточной части турбин, необходимо строго поддерживать эксплуатационные нормы допустимого содержания в питательной воде тех или иных примесей. С этой целью добавочная питательная вода подвергается глубокой химической очистке либо дистилляции на водоподготовительных установках (см. § 6-12). Однако этого недостаточно, так как опасным источником загрязнения конденсата турбин накипеобразователями и натриевыми соединениями являются присосы охлаждающей воды в паровое пространство конденсатора через неплотности (места вальцовки или приварки труб) или через сквозные коррозионные свищи и трещины на стенках трубных пучков. Поэтому в процессе эксплуатации ТЭС требуется уделять большое внимание постоянному поддержанию высокой герметичности конденсатора.

Для борьбы с последствиями загрязнения конденсата турбин солями жесткости вследствие присосов в конденсаторе на ТЭС с парогенераторами барабанного типа питательная и котловая вода подвергаются систематической коррекционной обработке разнообразными реагентами (фосфаты, комплексоны и др.), обеспечивающими выпадение накипеобразователей в форме легкоподвижного неприкипающего шлама, выводимого из парогенератора с помощью его периодической продувки (см. гл. 5). Выявилось, что в условиях конденсатного питания парогенераторов с малой добавкой химически обес-

соленой природной воды либо дистиллята испарителей основной составляющей отложений на всем протяжении водо-парового тракта являются продукты коррозии конструкционных материалов.

На ТЭС с парогенераторами барабанного типа для предотвращения железоокисных и медноокисных накипей может быть успешно применена коррекционная обработка котловой воды гексаметафосфатом натрия или комплексонами.

На энергоблоках с прямоточными парогенераторами в связи с исключительно высокими требованиями, предъявляемыми ими к качеству питательной воды, должен быть обеспечен возможно более полный вывод окислов железа, меди и других сопутствующих примесей из водо-парового цикла энергоблоков. Это достигается путем глубокой очистки всего конденсата пара, прошедшего через турбину, а также конденсатов греющего пара регенеративного и теплофикационного подогревателей (см. гл. 9).

В целях предотвращения образования накипных отложений в теплофикационных системах подпиточная вода подвергается умягчению либо омагничиванию с последующей термической ее дегазацией (см. гл. 6).

На многих электростанциях для конденсации отработавшего в турбине пара используются оборотные системы технического водоснабжения с градирнями и брызгальными бассейнами. Основным отличием оборотной системы от прямоточной является упаривание в ней циркулирующей воды, вызывающее возрастание концентрации растворенных в ней накипеобразующих веществ, что приводит к образованию плотной накипи на охлаждаемых поверхностях. Присутствие в циркуляционной воде микроорганизмов способствует образованию на охлаждаемых поверхностях специфических отложений биологического характера.

Наличие отложений на внутренних поверхностях конденсаторных труб, омываемых охлаждающей водой, ухудшает теплоотдачу в конденсаторе и уменьшает проходное сечение труб. Из-за этого повышается температура пара внутри конденсатора, а вследствие роста гидравлического сопротивления системы уменьшается расход охлаждающей воды и соответственно повышается ее нагрев. Оба эти процесса, взаимно усиливая друг друга, ухудшают вакуум и увеличивают удельный рас-

ход пара на выработанный киловатт-час, что снижает экономичность турбоагрегатов.

В целях постоянного поддержания нормального вакуума в конденсаторах и предотвращения тем самым снижения к. п. д. турбинной установки на ТЭС проводится эффективная борьба с неорганическими и биологическими загрязнениями конденсаторных труб с применением химических (фосфатирование, подкисление, хлорирование), безреагентных (омагничивание) и термических методов обработки охлаждающей воды.

Как правило, внутренние поверхности вновь смонтированных парогенераторов, оборудования и трубопроводов тракта питательной воды бывают загрязнены ржавчиной, окалиной, сварочным графом, маслами и т. п. Количество этих загрязнений составляет в среднем 200—250 г/м², но иногда оно достигает 350 г/м² и более. Указанные загрязнения возникают в процессе технологического создания и монтажа парогенератора и вспомогательного оборудования (прокат труб, ковка барабанов, отжиг, гибка, сварка вальцовки и т. д.), а также в результате атмосферной коррозии во время транспортирования и хранения на монтажных площадках недостаточно герметизированных и пассивированных элементов агрегатов и трубопроводов.

Пуск и наладка загрязненных парогенераторов и тракта питательной воды неизбежно приводят к опасному повышению температуры стенок паробразующих и перегревателей труб и к заносу проточной части турбины кремнекислыми соединениями и окислами металлов. Поэтому вновь смонтированные парогенераторы и тракт питательной воды подвергаются предпусковой химической очистке до начала их наладки и пробной эксплуатации. Предпусковую очистку только в том случае можно признать удовлетворительной, если оставшиеся неотмытые отложения равномерно распределены на поверхности металла и не превышают 50 г/м² для парогенераторов высокого давления (а д) и не более 20—25 г/м² для парогенераторов с. к. д.

Выявлено, что даже при нормальном водном режиме ТЭС и соблюдении установленных норм качества питательной и котловой воды отложения, преимущественно состоящие из продуктов коррозии, все же постепенно накапливаются в парогенераторах и регенеративных подогревателях. Эти отложения зачастую отличаются по-

ристостью, иногда они имеют рыхлую структуру в их состав входят главным образом гидратированные окислы железа (двух- и трехвалентного), а иногда и окислы меди. Улучшение качества конденсатов и питательной воды заметно ослабляет процесс образования эксплуатационных отложений на поверхности паросилового оборудования, но полностью его не устраняет. Следовательно, в целях обеспечения должной чистоты поверхности нагрева необходимо наряду с одноразовой предпусковой очисткой проводить также периодические эксплуатационные очистки основного и вспомогательного оборудования и притом не только при наличии систематических грубых нарушений установленного водного режима и при недостаточной эффективности проводимых на ТЭС противокоррозионных мероприятий, но и в условиях нормальной эксплуатации ТЭС. Проведение эксплуатационных очисток особенно необходимо на энергоблоках с прямоточными парогенераторами.

На основании многолетнего опыта применения химической очистки парогенераторов и пароводяного тракта на отечественных и зарубежных электростанциях установлено, что тщательно проведенные повторные кислотные очистки практически безопасны.

3.2. СОСТАВ, СТРУКТУРА И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛОЖЕНИЙ

Отложения на поверхностях нагрева бывают весьма разнообразными по химическому составу, структуре, плотности и коэффициенту теплопроводности. Наряду с рыхлыми пористыми отложениями, подобными пемзе или туфу, встречаются отложения, которые по твердости и прочности связи с металлом напоминают эмали. Разнообразны также состав и физические свойства котельного шлама.

Образующиеся в парогенераторах отложения могут быть по своему химическому составу подразделены на три основные группы: 1) щелочноземельные; 2) железные; 3) медные.

В первую группу входят кальциевые и магниевые накипи (карбонатные, сульфатные, силикатные, фосфатные), а состав которых преобладают (до 90%) CaCO_3 , CaSO_4 , CaSiO_3 , $5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Во вторую группу входят железистые Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , железофосфатные $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, NaFePO_4 и железосиликатные $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ накипи.

В третью группу входят отложения металлических меди и окислы меди CuO , Cu_2O .

Карбонатная накипь откладывается обычно в форме плотных кристаллических отложений на тех поверхностях нагрева или охлаждения, где отсутствует кипение воды, а среда нещелочная. Этими поверхностями являются водяные экономайзеры, конденсаторы турбин, водоподогреватели, питательные трубопроводы, тепловые сети и др. В условиях же кипения щелочной воды (в парогенераторах, испарителях) CaCO_3 обычно выпадает в форме неприкипающего шлама.

Сульфатная накипь обладает большими твердостью и плотностью.

Силикат кальция образует твердую накипь, крепко пристающую к стенкам поверхности нагрева.

Сложные силикатные накипи имеют разнообразный минеральный состав, так как кремниевая кислота образует накипи не только с катионами кальция и магния, но и с катионами натрия, железа и алюминия (натроферросиликаты и натроалюмосиликаты). В составе сложных силикатных накипей содержится до 40—50% кремниевой кислоты, 25—30% окислов железа, меди и алюминия и 5—10% окиси натрия. Количество же соединений щелочноземельных металлов в этих отложениях обычно не превышает нескольких процентов. Эти сложные бескальциевые силикатные накипи характеризуются разнообразием структур — от пористых и комковых отложений до твердых и плотных образований, ровным слоем покрывающих металлическую поверхность.

При повышенном содержании фосфатов и железа в котловой воде и низкой щелочности последней на внутренних поверхностях парообразующих труб откладываются рыхлые железофосфатные накипи $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, NaFePO_4 , которые при обдувании труб сравнительно легко отваливаются от стенок. Характерным для железофосфатных накипей является равномерное распределение их по всей длине трубы.

На внутренней поверхности экранных труб в зонах наибольших температур факела, характеризующихся высокими местными тепловыми нагрузками, откладыва-

ются железистоокисные накипи главным образом в форме магнетита Fe_3O_4 . Анализ отложений, отобранных с внутренних поверхностей нагрева парогенераторов с. к. д., показывает, что они на 95—98% состоят из соединений железа. В железистоокисных накипях нередко присутствует равномерно распределенная в толще слоя отложений металлическая медь.

При повышенном содержании соединений меди в питательной воде на участках парообразующих труб с плотностью теплового потока, равной или большей 230 кВт/м^2 , или в местах глубокого упаривания котловой воды откладывается и прочно пристает к металлу сложная накипь, одним из основных компонентов которой является металлическая медь. В отличие от железистоокисных накипей распределение меди в толще медной накипи обычно таково, что верхний слой, омываемый котловой водой, содержит наибольшее количество металлической меди (70—90% веса пробы), а последующие слои накипи по мере приближения к внутренней поверхности трубы содержат все меньший процент меди (10—25%) при одновременном возрастании количества окислов железа, кремниевой кислоты, фосфатов кальция и других компонентов.

Накипи в большинстве случаев имеют смешанный характер, иногда со значительным преобладанием окислов железа, меди, фосфатов кальция, железо- и алюмосиликатов и других компонентов. В процессе эксплуатации парогенератора при изменениях его гидродинамического и теплового режимов, связанных с ростом нагрузки, возможно образование на стенках парообразующих труб временных нагривных отложений Na_2SO_4 , Na_2SiO_3 , NaCl , которые, будучи хорошо растворимыми в воде, полностью вымываются со стенок труб парогенератора при его останове либо резком снижении нагрузки.

Находящиеся в котловой воде взвешенные частицы увеличиваются в размере за счет кристаллизации на их поверхности веществ из котловой воды, а также взаимного сцепления, образуя на внутренних поверхностях парогенератора илистые шламовые отложения. В состав котельного шлама входят углекислый кальций CaCO_3 , гидрокарбонат магния $\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCO}_3$, фосфат магния $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, гидроксилалюминат $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, окислы железа Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , окислы меди CuO , Cu_2O , органические вещества и т. д. При наличии в котловой вод

кремневой кислоты гидроокись магния вступает с нею в соединение, образуя при этом серпентин, который обычно выпадает в форме высокодисперсного шлама:



Следует различать:

а) шламы, не прикипающие к поверхностям нагрева и поэтому сравнительно легко выводимые наружу во время работы парогенератора путем периодической продувки последнего; к числу их относятся гидроксилалатит и серпентин, а также карбонат кальция в щелочной среде;

б) шламы, способные при известных условиях прикипать к поверхностям нагрева и являющиеся материалом для образования так называемых вторичных накипей; к числу прикипающих шламов могут быть отнесены гидроокись магния и фосфато-магнезиальные соединения. Отсюда следует, что одной из важных задач организации рационального водного режима парогенераторов с многократной циркуляцией является создание в котловой воде таких условий, при которых накипеобразователи, проникающие в парогенератор с пита-

Таблица 3-1

Средние значения коэффициентов теплопроводности для различных видов накипи

Вид накипи и ее химический состав	Характер отложения	Коэффициент теплопроводности, $\text{вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})^*$
Накипь, содержащаямасло	Твердая	0,116—0,175
Силикатная накипь (с содержанием SiO_2 , равным 20—25% и выше)	"	0,038—0,232
Гипсоватая накипь (с содержанием CaSO_4 до 50%)	Твердая, плотная	0,580—2,900
Карбонатная накипь (с содержанием $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ больше 50%)	От аморфного порошка до твердого котельного камня	0,580—7,000
Смешанная накипь, состоящая из гипса, карбонатов и силикатов кальция и магния	Твердая, плотная	0,800—3,500

* $1 \text{ вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}) = 0,86 \text{ ккал}/(\text{м ч } ^\circ\text{C})$

тельной водой, выделялись бы только в форме шлама, неспособного прикипать к стенкам труб и удаляемого из парогенератора с продувочной водой.

Теплоизолирующие свойства отложений характеризуются следующими физико-механическими показателями: структура (пористость), теплопроводность, толщина и сила сцепления их с поверхностью металла.

Структура накипи, характеризующаяся ее пористостью и твердостью, зависит от условий и кинетики образования отложений. Твердость и пористость отложений являются показателями, по которым можно судить о трудности удаления их с помощью скребков, шарошек и других механических способов. Теплопроводность отложений является важной характеристикой, определяющей надежность и экономичность работы парогенераторов и теплообменных аппаратов. Вязкости коэффициентов теплопроводности отложений зависят от их структуры и химического состава (табл. 3-1). Плотно приставшие к поверхности отложения менее опасны, чем слабосидящие, так как зазор, образующийся между металлической стенкой и отложениями, сильно увеличивает температурный напор и приводит к опасному местному перегреву металла.

Из приведенных данных видно, что наибольшую опасность представляют силикатная накипь и накипь, пропитанная маслом.

На рис. 3-1 изображены кривые, характеризующие влияние толщины и теплопроводности накипи на температуру стенки кипятящей трубы парогенератора. Приведенные кривые показывают, что достаточно незначительного по толщине слоя (0,1—0,2 мм) мало-теплопроводной накипи

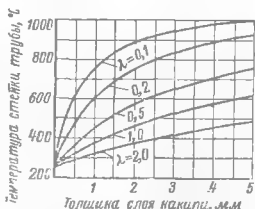


Рис. 3-1. Зависимость температуры стенки кипятящей трубы от толщины слоя накипи для различных значений коэффициента ее теплопроводности.

Приведенные значения температур вычислены при следующих условиях: температура топочного пространства 1100 °C, температура котловой воды 200 °C; толщина стенки трубы 5 мм; коэффициент теплопроводности металла трубы 58 Вт/м · °C, плотность теплового потока 174 ккал/м².

на поверхности наиболее теплонапряженных экранных труб, чтобы температура металла на внутренней поверхности стенки достигла 500°C и больше. Температура наружной поверхности стенки трубы при этом еще на $30-40^{\circ}\text{C}$ выше, что за сравнительно короткий период работы парогенератора приводит к отдулинам и разрывам паробразующих труб.

3-3. ОБРАЗОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ НАГРЕВА ПАРОГЕНЕРАТОРОВ С МНОГОКРАТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ И ТЕПЛООБМЕННИКОВ

а) Условия образования твердой фазы из солевых растворов

Согласно современным представлениям накипь и шлак образуются в результате физико-химических процессов, из которых основным является процесс кристаллизации, характеризующийся выделением твердой фазы из многокомпонентных солевых растворов. Выделение твердой фазы из раствора солей при его нагревании и кипячении может происходить различными путями. Например, из пересыщенного раствора солей могут сначала отлагаться на отдельных участках поверхности металла первичные зародышевые кристаллы, которые затем укрупняются и разрастаются. Образование на поверхности металла первичных кристаллов накипи, являющихся своего рода связующим звеном между металлом стенки и слоем последующих твердых отложений, может быть объяснено тем, что поверхность металла обладает шероховатостью. Многочисленные бугорки на этой поверхности представляют собой центры кристаллизации твердой фазы из пересыщенного раствора. Кроме того, следует иметь в виду, что поверхность нагрева обычно покрыта слоем окислов, который выполняет роль цементирующей прослойки между металлом и отложениями, кристаллизующимися из раствора.

К типичным накипесобразователям могут быть отнесены сернокислый кальций, силикат кальция и сложные алюмоферросиликаты.

Образование котельного шлака происходит в результате выделения в толще пересыщенного раствора кальциевых и магниевых солей зародышей твердой фазы, представляющих собой многочисленные центры кристал-

лизации солей. На этих центрах откладываются последующие молекулы кристаллизующейся соли, причем первые вследствие этого растут, переходя постепенно из субмикроскопических размеров в микроскопические. Ставший таким образом видимым осадок имеет аморфное или скрытое кристаллическое строение, далее частицы стиваются и с течением времени образуют кристаллические или хлопьевидные осадки. Типичными шламообразователями являются силикат магния (серпентин), гидроксилпатит и карбонат кальция (в щелочной среде).

Одни вещества, выделяясь из раствора в виде твердой фазы, кристаллизуются на горячих (нагрываемых снаружи) поверхностях нагрева, другие — на холодных (охлаждаемых снаружи) поверхностях охлаждения, образуя в том и другом случаях прочную и плотную накипь, третьи выпадают в толще воды в виде взвешенных шламовых частиц. Если кристаллизация солей происходит непосредственно на поверхности нагрева или охлаждения и при этом образуются твердые отложения, то такое явление называют первичным процессом накипобразования. Вторичный процесс накипобразования характеризуется тем, что выпавшие вначале в толщине котловой воды взвешенные частицы осаждаются и затем образуют прочно сцепленные с поверхностью нагрева вторичные отложения.

Рассмотрим условия протекания процесса образования накипи при парообразовании, когда концентрации присутствующих в котловой воде ионов постепенно возрастают. В насыщенном растворе труднорастворимого вещества произведение концентрации ионов достигает величины произведения растворимости $ПР$, характеризующего предел растворимости данного вещества при данной температуре и зависящего исключительно от температуры и химической природы вещества.

Если через $КА$ обозначить труднорастворимую соль, в которой K^+ обозначает катион, а A^- — анион, то для насыщенного раствора этой соли имеет место следующее равенство:

$$C_{K^+} C_{A^-} = ПР_{КА} \quad (3-3)$$

Здесь C_{K^+} и C_{A^-} обозначают концентрации соответственно катиона и аниона, выраженные количеством грамм-ионов их в килограмме ($г\text{-ион}/кг$) раствора.

Произведение растворимости PP для данного соединения и данной температуры является величиной постоянной; оно изменяется с изменением температуры.

Если $C_K^+C_A^- < PP_{K_A}$, то раствор не насыщен и осадок выпадать не будет; при $C_K^+C_A^- > PP_{K_A}$ неизбежно выпадение осадка. Для насыщенных растворов сернистого, углекислого и кремникового кальция характерны следующие равенства:

$$C_{Ca^{2+}}C_{SO_4^{2-}} = PP_{CaSO_4}; \quad (3-4)$$

$$C_{Ca^{2+}}C_{CO_3^{2-}} = PP_{CaCO_3}; \quad (3-5)$$

$$C_{Ca^{2+}}C_{SiO_3^{2-}} = PP_{CaSiO_3}. \quad (3-6)$$

Выпадение из раствора данной соли начинается только в том случае, когда произведение концентраций ионов, входящих в ее состав, превышает значение произведения растворимости для данной соли. Из уравнения (3-3) следует, что с увеличением концентраций одного иона концентрация другого иона должна уменьшаться, так как величина произведения растворимости для данной температуры остается без изменений. Если к насыщенному раствору какой-либо соли прибавить электролит с тем же, что и в растворе, катионом или анионом, то равновесие раствора переместится в направлении уменьшения растворимости данной соли с выделением избытка ее в твердую фазу. Например, в случае прибавления к насыщенному раствору $CaSO_4$ электролита Na_2SO_4 или $CaCl_2$ равновесие окажется нарушенным в сторону уменьшения растворимости $CaSO_4$; после выделения избыточного количества его в твердую фазу установится новое состояние равновесия при неизменном PP_{CaSO_4} , но с изменением концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} .

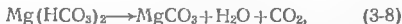
б) Условия образования щелочноземельных накипей

Щелочноземельные накипи образуются в тех случаях, когда в подогреваемой или испаряемой воде одновременно находятся катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} и анионы CO_3^{2-} , SO_4^{2-} и SiO_3^{2-} , с которыми они образуют труднорастворимые соединения: $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, $CaSO_4$, $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $CaSiO_3$, $MgSiO_3$, $MgCO_3$.

Эти соединения выделяются в твердую фазу в результате физических и химических процессов. К физическим процессам относится постепенное повышение концентрации солей в котловой воде при продолжительном ее выпаривании, в результате чего наступает момент, когда достигается предел растворимости труднорастворимых солей и происходит выделение их в твердую фазу из пересыщенного раствора.

К химическим процессам накилеобразования относятся следующие:

в) термический распад бикарбонатов кальция и магния:



в результате которого бикарбонаты кальция и магния преобразуются в менее растворимые карбонаты кальция и магния;

б) гидролиз карбоната магния, в результате которого последний переводится в еще менее растворимую гидроксид магния:



в) реакции взаимного обмена, в результате которых образуются соли с меньшей растворимостью, например:



Необходимо заметить, что из пересыщенных растворов выделяются в твердую фазу в первую очередь соли, имеющие отрицательный температурный коэффициент растворимости, которые откладываются на наиболее горячих поверхностях нагрева.

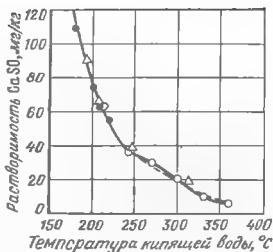


Рис. 3-2. Растворимость CaSO_4 в зависимости от температуры воды на линии насыщения.

● — по данным Патриджа; Δ — по данным Штрауба, ○ — по данным Резникова (МЭИ)

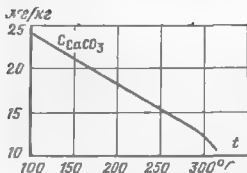


Рис. 3-3 Растворимость CaCO_3 в зависимости от температуры воды на линии насыщения.

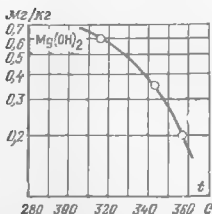


Рис. 3-4 Растворимость $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в зависимости от температуры воды на линии насыщения.

На рис. 3-2—3-4 приведены кривые, характеризующие растворимость CaSO_4 , CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в зависимости от температуры воды. Скорость образования щелочноземельной накипи пропорциональна концентрации ионов кальция и магния в растворе и резко возрастает с увеличением тепловой нагрузки поверхности нагрева:

$$w = kSq^2, \quad (3-11)$$

где w — скорость образования накипи, $\text{г/см}^2 \cdot \text{ч}$; k — коэффициент пропорциональности; S — концентрация накипеобразователей в котловой воде, г/кг ; q — плотность теплового потока, кВт/м^2 .

в) Условия образования ферро- и алюмосиликатных накипей

Ферро- и алюмосиликатные накипи образуются на высокотемпературных поверхностях парообразующих

труб в результате топочимических реакций веществ, входящих в их состав и находящихся в тесном соприкосновении. Характер этих реакций существенно отличается от характера реакций, протекающих между теми же веществами, находящимися в растворенном состоянии. Особенностью их является то, что для их протекания вовсе не требуется приближение к температуре плавления системы или хотя бы одного из ее компонентов: взаимодействие между веществами начинается задолго до перехода их в жидкую фазу.

В качестве примера может быть приведена реакция взаимодействия отложившегося на поверхности нагрева силиката натрия с окислами железа с образованием

ферросиликатной накипи:



Растворимость образовавшегося силикатного соединения значительно ниже растворимости силиката натрия. Более сложные алюмо- и ферро силикатные накипи образуются в результате протекания реакций между тремя и более веществами.

г) Условия образования железистоокисных и железистотрифосфатных накипей

Железистоокисные накипи образуются на наиболее теплонеприятных участках парообразующих труб за счет окислов железа, попадающих в котловую воду при разрушении слоя прокатной окислы и ржавчины на внутренних поверхностях парогенератора, а также поступающих в парогенератор с питательной водой в результате коррозии ее тракта и накапливающихся в парогенераторе при нарушении нормального режима шламовых продувок.

Опыт эксплуатации ТЭС свидетельствует о том, что опасные железистоокисные накипи возникают преимущественно на стороне парообразующей трубы, обращенной в топку. Скорость роста железистоокисных отложений пропорциональна концентрации железа в котловой воде и квадрату плотности теплового потока на поверхности парообразующих труб. При концентрации окислов железа в котловой воде, превышающей 0,5 мг/кг, они находятся в значительной степени в форме частиц коллоидного и грубодисперсного шлама, отложение которых на стенке парообразующей трубы происходит за счет процесса адгезии.

Железистотрифосфатные накипи образуются в результате ненадежности водного режима парогенераторов барабанного типа, когда в котловой воде солевых отсеков концентрация фосфат-ионов достигает 500—800 мг/кг. Особенно опасен повышенный избыток фосфатов, когда в качестве реагента, вводимого в барабан парогенератора, применяется гексаметафосфат натрия. Последний при давлениях выше 130 кгс/см² гидролизуеться и образует кислый мононатрийфосфат:



реактирующий с железом и образующий преимущественно на поверхности экранных труб твердую фазу железоз-фосфата натрия с частичным окислением последнего в гидрат закиси железа или магнитную закись-окись железа:



На рис. 3-5 кривая делит площадь между осями PO_4^{3-} и NaOH на две области: выше кривой находится область образования NaFePO_4 , а ниже — область, в которой осадки, состоящие из NaFePO_4 , не образуются.

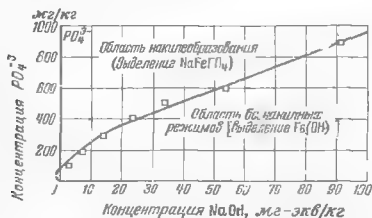


Рис. 3-5. Области существования феррофосфата и гидрата закиси железа в зависимости от концентрации PO_4^{3-} и NaOH в котловой воде.

Из графика следует, что при избытке 100 мг/кг PO_4^{3-} предотвращение железозфосфатных накипей требует содержания в котловой воде свободного едкого натра не менее 0,25 мг-экв/кг, а при концентрации 150 мг/кг PO_4^{3-} едкого натра необходимо не менее 2,5 мг-экв/кг. Следовательно, каждой концентрации фосфата должна отвечать соответствующая концентрация NaOH , выше которой уже не могут образоваться железозфосфатные накипи.

д) Условия образования медных накипей

Обследование промышленных парогенераторов показало, что образование в них «медных» накипей имело место при плотности теплового потока экранных труб 230 кВт/м^2 и выше; скорость процессов отложения повышалась с возрастанием теплонапряжения и достигала 250 г/м^2 в год в зоне топочного факела при плотности теплового потока 580 кВт/м^2 .

Непременным условием образования медных накипей на внутренних поверхностях экранных труб является попадание в парогенератор с питательной водой продуктов коррозии латунных труб конденсаторов, охладителей пара эжекторов и выпара деаэраторов, теплофикационных и регенеративных подогревателей.

Растворимость окиси меди или ее гидрата в воде, не содержащей ни аммиака, ни его производных, при температуре $340\text{--}360^\circ\text{C}$ и при $\text{pH}=6,5\div 10,0$, по данным МЭИ, составляет $6\text{--}8 \text{ мг/кг}$, а в присутствии аммиака или же его производных растворимость окислов меди за счет образования аммиачных комплексов возрастает до $20\text{--}22 \text{ мг/кг}$. В щелочной котловой воде медь находится в растворенном состоянии, преимущественно в виде комплексных соединений, которые, разрушаясь, образуют ионы меди, способные восстанавливаться до металлической меди: $\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}$. Источником электронов при этом является металлическое железо, переходящее в форму двухвалентного железа: $\text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2e$. Следовательно, основной причиной образования накипей является электрохимический процесс восстановления меди, протекающий в зонах максимальных тепловых нагрузок, где под влиянием мощного теплового потока нарушена цельность защитной окисной пленки. В результате этого между отдельными участками металла создается местная разность потенциалов, которая может оказаться достаточной, чтобы стал протекать процесс электролитического выделения меди при данной концентрации ее ионов в котловой воде. Так как образующаяся медная накипь обладает хорошей электропроводностью, наличие ее на поверхности нагрева не является существенной помехой для продолжения электрохимических процессов, в результате которых выделяются новые порции металлической меди.

е) Условия образования отложений легкорастворимых соединений

В воде, испаряемой в парогенераторах, обычно содержатся примеси легкорастворимых веществ: сульфаты, хлориды, фосфаты, силикаты и гидроокись натрия, которые попадают в питательную воду с добавочной питательной водой, производственными конденсатами и присосом охлаждающей воды в конденсаторах. При глубоком упаривании котловой воды и достижении концентраций, превышающих растворимость натриевых соединений, они кристаллизуются и образуют твердые отложения на поверхностях нагрева.

Рассмотрим условия, необходимые для образования водорастворимых отложений из натриевых соединений на внутренних поверхностях паропрообразующих труб. Если обозначить через t_0 температуру кипения чистой воды при данном давлении и через t_p температуру кипения насыщенного раствора данного вещества, то величина температурной депрессии $\Delta t = t_p - t_0$ показывает, насколько температура стенки парообразующей трубы должна быть выше температуры кипения чистой воды при данном давлении, чтобы раствор соли мог быть выпарен досуха в атмосфере водяного пара данного давления. Экспериментальным путем установлено, что величины значений Δt_s зависят от состава растворенных веществ и давления.

Образование отложений легкорастворимых соединений на внутренних поверхностях парообразующих труб определяется величиной Δt_s ; оно возможно лишь в том случае, когда температура раствора в каком-либо участке пароводяного тракта парогенератора превышает температуру кипения чистой воды на величину больше чем Δt_s . Если в растворе преобладают вещества, характеризующиеся малой величиной Δt_s , до таточного небольшого перегрева стенки трубы, чтобы произошло полное испарение пленки воды с образованием твердых солевых отложений. Вещества же с большим значением Δt_s могут оставаться в растворе даже в том случае, когда температура перегретой стенки значительно превышает температуру кипения чистой воды.

Экспериментальным путем установлено, что для образования твердых отложений легкорастворимых веществ в условиях кипения котловой воды, представляю-

щей собой многокомпонентный солевой раствор, необходимы значительно большие повышения температуры раствора в сравнении с чистой водой, чем в условиях кипения однокомпонентных растворов натриевых соединений.

Когда гидродинамические нарушения отсутствуют и в парогенераторе имеет место нормальное пузырьковое кипение, происходит интенсивный тепло- и массообмен между перегретой жидкостью в пристенном слое и основной массой неперегретой котловой воды. При этом благоприятном температурном режиме не наблюдается сколько-нибудь существенного местного повышения температуры внутренней поверхности нагрева под паровыми пузырями и тем более температуры пристенного слоя котловой воды.

Так как на площадках поверхности нагрева под образующимися паровыми пузырями не происходит глубокого упаривания раствора в пристенном слое и он остается ненасыщенным, то и не происходит кристаллизации солей. Отсюда следует, что в условиях нормального пузырькового кипения, даже при концентрациях, значительно превышающих обычные соледержания котловой воды, отложения легкорастворимых соединений на внутренней поверхности парообразующих труб не образуются. *Лишь при нарушении режима гидродинамики пароводяной смеси и ухудшении температурного режима металла парообразующих поверхностей возможно местное повышение концентрации легкорастворимых соединений в пристенном слое котловой воды вплоть до насыщения с последующей кристаллизацией их и образованием твердых отложений на поверхности нагрева.* В указанных неблагоприятных условиях происходит глубокое упаривание пристенного слоя котловой воды, сопровождаемое резким уменьшением водосодержания потока пароводяной смеси.

Установлено, что при малых кратностях циркуляции и высоком паросодержании двухфазного потока имеет место переход от нормального пузырькового к опасному пленочному режиму кипения, т. е. наступает так называемый кризис кипения, когда паровые пузыри не успевают отрываться от поверхности нагрева и образуют паровой изолирующий слой. Это приводит к нарушению массообмена между пристенным слоем и ядром потока, содержащим влагу, следствием чего являются утонение

либо полное упаривание раствора у стенки, резкое ухудшение температурного режима труб и выпадение на их внутренних стенках всех солей, в том числе легкорастворимых натриевых

Для того чтобы предотвратить кризис кипения и отложение легкорастворимых солей, необходимо увеличить скорость циркуляции и снизить местные тепловые нагрузки.

При расслоении пароводяной смеси, опрокидывании циркуляции и образовании свободного уровня в трубах локальная концентрация солей в пристенном слое этих труб может в сотни раз превышать среднюю концентрацию солей в циркулирующей котловой воде, так как происходит глубокое местное упаривание последней. Установлено, что расслоение пароводяной смеси (лотковый режим течения) наблюдается обычно в интенсивно обогреваемых горизонтальных и слабонаклоненных парообразующих трубах экранов. При этом в нижней части трубы, где движется вода, имеет место нормальное пузырьковое кипение жидкости и температура стенки трубы мало отличается от температуры насыщения. В верхней же части сечения, где на стенках трубы отсутствует сплошная жидкая пленка, температура стенок трубы может быть значительно выше, ввиду того что на «сухих» участках коэффициент теплоотдачи от стенки к пару намного меньше, чем от стенки к воде.

При лотковом режиме течения смеси в трубах имеет место систематическое попадание мелких капель (брызг) воды на верхнюю (сухую) часть трубы с последующим испарением этих капель вплоть до выпадения тех солей, температура кипения насыщенных растворов которых ниже температуры металла. При этом могут отлагаться не только труднорастворимые соли щелочноземельных металлов, но и те легкорастворимые натриевые соединения, которые обладают температурой кипения насыщенного раствора, близкой к температуре кипения котловой воды. Ликвидации этих явлений можно добиться увеличением угла наклона парообразующей трубы к горизонтали до 15—30°.

В парообразующих трубах может произойти опрокидывание циркуляции, при котором вода и пар движутся в разные стороны и в результате образуются паровые мешки и пробки, приводящие к перегреву металла и

образованию местных солевых отложений. Опасным фактором способствующим образованию отложений, является так называемый «свободный уровень» воды в вертикальных экранных трубах, который может получиться при неодинаковом обогреве параллельно включенных парообразующих труб циркуляционного контура, а также при обогреве газами лишь верхнего участка трубы, в то время как нижний участок ее зашлывкован. С повышением давления в парогенераторе растет опасность образования свободного уровня в связи с уменьшением движущих напоров циркуляции. При длительном наличии свободного уровня котловая вода, находящаяся в трубе ниже его, подвергается выпариванию. При этом концентрация веществ в котловой воде, содержащейся в трубе, быстро повышается, достигая значений, намного превышающих концентрацию их в котловой воде, циркулирующей по другим трубам.

О связи солеотложений с гидродинамическим режимом свидетельствует наблюдаемое при эксплуатации парогенераторов высокого давления с дефектной циркуляцией специфическое явление, характеризующееся временным снижением содержания легкорастворимых соединений в котловой воде. Это так называемое «прятанье» солей объясняется тем, что при росте нагрузки парогенераторов, обладающего дефектной циркуляцией, известная часть натриевых соединений, входящих в состав котловой воды, отлагается на интенсивно обогреваемых поверхностях парообразующих труб, плохо омываемых котловой водой. При остановке парогенераторов и при же резком снижении его нагрузки наблюдается обратная картина, так как с восстановлением в парогенераторе нормальной циркуляции и ликвидацией явления расслоения пароводяной смеси водорастворимые натриевые соли, отложившиеся на «сухих» участках парогенератора, снова переходят в раствор.

Отложившиеся на высокотемпературных участках парообразующих труб водорастворимые натриевые соединения могут в результате химических реакций с окислами котельного металла преобразовываться в труднорастворимые смешанные накипи. Следовательно, в известных неблагоприятных условиях натриевые соединения уже становятся опасными накипеобразователями.

3-4. ОБРАЗОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРЯМОТОЧНЫХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

Одной из особенностей прямоточных парогенераторов является отсутствие в них котловой воды, а следовательно, отсутствие возможности вывода веществ из системы парогенератора, кроме как с паром. В прямоточном парогенераторе вся поступающая в него питательная вода превращается в пар, и растворенные в этой воде вещества, а также образовавшиеся в тракте парогенератора продукты коррозии могут быть унесены паром в турбину или отложиться на внутренней поверхности паробразующих и пвперегревательных труб.

Установлено, что основными факторами, определяющими интенсивность процесса образования отложений в прямоточных парогенераторах, являются: а) концентрация примесей в питательной воде, поступающей в агрегат, а также количество продуктов коррозии, образовавшихся в нем самом; б) изменение растворимости того или иного соединения в теплоносителе при изменении его рабочих параметров; в) тепловая нагрузка, с ростом которой увеличивается скорость образования отложений в данном сечении поверхности нагрева; г) скорость потока.

Если концентрация соединения в теплоносителе ниже его растворимости при данных параметрах, выпадение твердой фазы не может иметь места. Выпадение твердой фазы и образование отложений на обогреваемой поверхности будут происходить лишь в том случае, если концентрация какого-нибудь вещества в теплоносителе выше его растворимости при данных параметрах. Из неорганических соединений наименьшую растворимость в паре сверхкритического давления имеют соединения кальция и магния, а также окислы железа и меди (см. гл. 4), поэтому эти соединения являются наиболее опасными с точки зрения отложений в парогенераторах.

В водо-паровом тракте прямоточного парогенератора при высоких температурах теплоносителя соли магния гидролизуются с образованием $Mg(OH)_2$ и MgO , которые кристаллизуются и выпадают в форме твердой фазы. Бикарбонат и хлорид кальция гидролизуются с образованием CaO и оксихлоридов кальция. Это означает, что в результате протекания физико-химических

превращениях кальциевых соединений в трзкте парогене-
ратора *состав отложений, образующихся на внутренних*
поверхностях труб или выносимых с паром в турбину,
может не соответствовать солевому составу питательной
воды.

Опыт эксплуатации мощных энергоблоков с. к. д. по-
казывает, что при строгом соблюдении эксплуатацион-
ных норм качества питательной воды (по содержанию
солей жесткости и окислов металлов) накипные отло-
жения в прямоточном парогенераторе столь незначи-
тельны, что в этих условиях обеспечивается надежность
непрерывной работы парогенератора в течение нескоть-
ких месяцев. При относительно небольшом отклонении
концентрации солей жесткости и окислов металлов
в питательной воде от эксплуатационных норм (см. гл. 5)
наибольшие отложения кальциевых соединений и про-
дуктов коррозии возникают преимущественно в зоне,
отвечающей области максимальной теплоемкости. Отме-
чено, что при неравномерном обогреве парообразующей
трубы по ее периметру скорость отложений будет боль-
шей на более интенсивно обогреваемой стороне.

При заметном отклонении качества питательной во-
ды от норм зона этих отложений увеличивается и сме-
щается в область более низких значений теплоемкости.
Так, например, осаждение кальциевых соединений на-
чинается на 80—160 ккал/кг ниже зоны максимальной
теплоемкости. Это, по-видимому, связано с различием
температуры ядра потока и пристенного слоя. В резуль-
тате интенсивные отложения возникают при силь-
ном пересыщении раствора вблизи стенок парообра-
зующих труб и при неполном насыщении раствора в ядре
потока.

Испытания промышленного прямоточного парогенератора с. к. д.
показали, что когда жесткость питательной воды колебалась в пре-
делах 1—1,5 мг экв/кг, то отложения преобладали в верхней ра-
диационной части агрегата, а при большой жесткости и повышенном
содержании окислов железа основная масса отложений смещалась
в нижнюю радиационную часть (задний и боковые экраны), т. е.
до выхода среды на перегрев, и где имеет место наибольшая тепло-
вая нагрузка поверхности нагрева.

В прямоточных парогенераторах с. к. д., работающих на мату-
те, где плотность теплового потока на экранных поверхностях в об-
ласти факела составляет 580—640 квт/м², достаточно сбрасывать
весьма тонкого слоя отложений, чтобы температура наружной стенки
трубы повысилась до 620—630 °С. Такая температура существенно
превышает расчетную температуру труб нижней радиационной части
по условиям длительной прочности стали 12ХМФ.

Так как в условиях эксплуатации ТЭС могут иметь место кратковременные ухудшения качества питательной воды, необходимо при проектировании прямоточных парогенераторов с. к. д. предусматривать размещение наиболее опасной (по отложениям соединений кальция, магния и окислов металлов) области фазового перехода в зоне пониженных тепловых нагрузок с таким расчетом, чтобы даже в наиболее интенсивно обогреваемом витке локальный тепловой поток на поверхности нагрева не превышал 230 кВт/м^2 .

Что же касается хлористого натрия и кремниевой кислоты, то они при соблюдении норм качества питательной воды проходят через прямоточный парогенератор транзитом благодаря тому, что исходная концентрация этих примесей в питательной воде обычно намного меньше, чем их растворимость в насыщенном паре высокого давления (см. гл. 4). Если же исходная концентрация этих примесей окажется больше, чем минимальная их растворимость в перегретом паре, то отложения появляются в зоне перегрева.

При повышенных концентрациях натриевых солей и кремниевых соединений в питательной воде они (и в первую очередь Na_2SO_4) начинают откладываться по всему периметру труб прямоточного парогенератора, когда концентрация этих примесей в растворе еще далека от насыщения. Процесс отложения солей из ненасыщенного раствора, по-видимому, происходит вследствие того, что при малых водосодержаниях толщина водяной пленки настолько уменьшается, что при интенсивном обогреве она высыхает, хотя в ядре потока пароводяной смеси еще содержится значительное количество мелких капелек влаги.

Если после смешения пара от всех витков «переходной зоны» он остается перегретым, то не исключена возможность выноса из парогенератора сухой взвеси Na_2SO_4 , образовавшейся при высыхании в паровом потоке влаги, поступающей из части труб. Едкий ягир может частично задерживаться в парогенераторе благодаря способности его к взаимодействию с окисной пленкой металла с образованием феррита натрия (NaFeO_2). Что же касается распределения поступающей с питательной водой кремниевой кислоты между отложениями в парогенераторе и паром, то оно в основном определяется величиной рН и ионным составом питательной во-

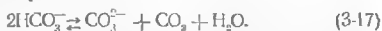
ды. В тех случаях, когда кремниевая кислота образует силикаты натрия, они частично откладываются в парогенераторе, образуя водовываемые отложения. Накопленные в парогенераторе водорастворимые натриевые соли при изменении параметров его работы могут выносятся с паром, иногда в больших количествах, и откладываться затем в проточной части турбин.

3-5. ОБРАЗОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ НА ОХЛАЖДАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ КОНДЕНСАТОРОВ И ПО ТРАКТУ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ

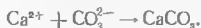
На внутренних охлаждаемых поверхностях конденсаторов паровых турбин, воздухоохладителей генераторов и по всему тракту охлаждающей воды могут образоваться отложения за счет следующих процессов: нанос и оседание взвешенных веществ (органические примеси, песок), выделение твердых веществ из водного раствора (преимущественно карбоната кальция) и образование продуктов коррозии. На стенках конденсаторных труб способны обитать живые организмы, что приводит к их зарастанию. Характер и интенсивность загрязнения внутренней поверхности конденсаторных труб и связанные с этим нарушения их работы зависят от многих факторов, к которым относятся физико-химический состав охлаждающей воды, ее биологические особенности, конструкция конденсатора и режим его работы (скорость движения воды в трубах, температурный перепад и т. д.) и коррозионная стойкость конденсаторных труб.

Рассмотрим условия образования отложений карбоната кальция на поверхности, охлаждаемой водой, обладающей карбонатной жесткостью. В стабильной воде бикарбонатные ионы HCO_3^- находятся в динамическом равновесии с ионами CO_3^{2-} и H^+ , а с другой стороны — с недиссоциированными молекулами растворенной в воде CO_2 . Со своей стороны растворенная в воде углекислота находится в равновесии с газообразной углекислотой, присутствующей в пространстве над водой. Это так называемое углекислотное равновесие нарушается при нагревании воды, вследствие чего часть растворенной в ней углекислоты удаляется. При этом проис-

ходит термический распад бикарбонат-ионов с образованием CO_3^{2-} и летучей CO_2 :



Процесс распада бикарбонатов протекает тем быстрее, чем выше температура и чем энергичнее перемешивание. В прямоточных системах охлаждения распад бикарбонатов обусловлен нагреванием воды, а в сборочных системах, кроме того, потерей растворенной в воде углекислоты при разбрызгивании воды в градирнях или брызгальных бассейнах. Увеличение концентрации карбонатных ионов при наличии в воде катионов кальция приводит к образованию труднорастворимого осадка CaCO_3 , обладающего способностью кристаллизоваться и давать плотные отложения на охлаждаемых поверхностях:



Так как величина произведения растворимости для карбоната кальция $PP_{\text{CaCO}_3} = C_{\text{Ca}^{2+}} C_{\text{CO}_3^{2-}}$ весьма мала, то при значительной концентрации Ca^{2+} концентрация CO_3^{2-} должна быть низкой. Вместе с карбонатом кальция на охлаждаемых поверхностях конденсаторов могут откладываться взвешенные вещества, которые как бы цементируются карбонатом кальция.

Значение предельно допустимой (по стабильности) карбонатной жесткости охлаждающей воды $J_{\text{к}}^{\text{пред}}$ можно приближенно рассчитать по эмпирической формуле, справедливой для поверхностных вод с окисляемостью, не превышающей 30 мг/кг O_2 при температуре, равной 40°C:

$$J_{\text{к}}^{\text{пред}} = 2,8 + \frac{O_{\text{к}}}{9} - \frac{J_{\text{вк}}}{3 - \frac{O_{\text{к}}}{22}}, \quad (3-18)$$

где $J_{\text{к}}$ — некарбонатная жесткость, мг-экв/кг; $O_{\text{к}}$ — окисляемость воды, мг/кг O_2 .

На поверхности конденсаторных труб и трубопроводов циркуляционной системы охлаждения могут возникать также отложения гидроокиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в тех случаях, когда в охлаждающей воде присутствуют соединения железа. При нагревании циркуляционной

воды, содержащей бикарбонат закиси железа, при обогащении ее кислородом и потере ею растворенной свободной углекислоты (вследствие аэрации воды в градирнях или брызгальных бассейнах) происходят окислительные закисного железа в окисное и гидролиз с образованием гидрата окиси железа.

Причиной развития в охлаждающих системах бактерий и водорослей является наличие в охлаждающей воде необходимых для них питательных веществ и благоприятных температурных условий. Питательной средой для бактерий, водорослей и более крупных живых организмов служат коллоидные органические вещества совместно с растворенной в воде углекислотой.

Попадая с циркуляционной водой в охлаждаемые агрегаты, микроорганизмы и водоросли начинают интенсивно развиваться и размножаться, постепенно покрывая охлаждаемую поверхность слизистой пленкой, к которой легко прилипают взвешенные вещества неорганического происхождения.

Поскольку процесс биологического обрастания обусловлен жизнедеятельностью организмов, то на интенсивность его протекания в значительной степени влияют температура воды и наличие в ней питательной среды, а также присутствие грубодисперсных частиц.

3-6. УДАЛЕНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ С ПОВЕРХНОСТИ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ И ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

а) Способы очистки

Различают следующие виды очистки парогенераторов и вспомогательного оборудования от отложений: а) предмонтажная очистка блоков парогенераторов, проводимая на заводах-изготовителях и на монтажной площадке (на плазду); б) предпусковая очистка; в) периодически проводимые эксплуатационные очистки. Очистка оборудования от отложений может быть осуществлена либо механическим способом, либо промывкой раствором реагентов.

Механические способы очистки заключаются в удалении накипи и рыхлых отложений с помощью инструментов с электроприводом или пневмоприводом (шарошки, щетки, наждачные круги) либо ручных инструментов (металлические ерши, зубила, щетки из спирально

навитой стальной проволоки и т. п.). Механическим способом очистки загрязненных лакипыю поверхностей присущи следующие недостатки: высокая трудоемкость; необходимость вскрытия и продолжительной остановки очищаемого агрегата; невозможность тщательной очистки длинных труб сложной конфигурации и с разветвлениями. Поэтому в настоящее время механические способы очистки получили применение лишь при проведении эксплуатационной очистки парогенераторов барабанного типа малой и средней паропроизводительности, а также теплообменных аппаратов (трубчатые подогреватели, конденсаторы).

На крупных ГЭС в. д., с. в. д. и с. к. д. при проведении предмонтажных, предпусковых и эксплуатационных химических очисток паросилового оборудования, как правило, используются минеральные и органические кислоты, комплексоны и другие моющие вещества. При использовании в качестве моющего реактива соляной или серной кислоты можно готовить их растворы на осветленной технической воде, в остальных же случаях нужно для этой цели использовать обессоленную воду или конденсат, которые не содержат хлоридов и накипеобразователей.

Выбор отмывочного реагента зависит от состава отложений и от использованного конструкционного материала. Преимуществом применения получила соляная кислота как наиболее дешевый, активный и быстро действующий реагент; она полностью растворяет карбонатные, фосфатные и частично железистоокисные отложения, но слабо действует на силикатные лакипы и не растворяет сульфатные. При обработке отложений раствором соляной кислоты наблюдается коррозионное разрушение металла оборудования с возникновением опасных язвин и трещин. При растворении ржавчины и окалин в раствор переходят ионы двух- и трехвалентного железа. Последние восстанавливаются металлом до двухвалентного состояния: $Fe^{3+} + Fe = 2Fe^{2+}$, играя роль катодного деполяризатора.

Установлено, что в интервале концентрации соляной кислоты 2—20% скорость растворения окислов возрастает в первом приближении пропорционально концентрации кислоты. При повышении температуры раствора кислоты на 10°C скорость растворения окислов увеличивается примерно вдвое. Кроме того, при удалении

железоокисных отложений с помощью соляной кислоты в растворе образуется хлорное железо (FeCl_3), которое является сильным окислителем и ускоряет процесс коррозии.

В целях противокоррозионной защиты котельной стали к промывочному кислотному раствору в небольших количествах добавляются различные вещества (ингибиторы), которые способны сильно тормозить процесс растворения металла и в то же время не препятствуют разрушению накипных отложений. Установлено, что ингибиторный эффект снижается с повышением температуры, а также при резком повышении скорости движения раствора кислоты.

Обработка отложений моющими реагентами производится:

а) без циркуляции с заливом очищаемого контура моющим раствором (метод травления) либо с применением принудительной циркуляции (насосом) промывочного раствора по замкнутому контуру;

б) без подогрева промывочного раствора либо с нагревом (огневым либо паровым).

В каждом отдельном случае выбор промывочной схемы, состава и температуры моющих растворов, продолжительности и режима всех операций промывки производится с учетом характера отложений, типов оборудования, его конструктивных особенностей и рабочих параметров, а также свойств металла отдельных элементов оборудования.

В целях осуществления предпусковых и эксплуатационных химических очисток теплоэнергетического оборудования на электростанциях обычно монтируются специальная постоянная либо временная промывочная схемы. В процессе кислотной очистки паросилового оборудования производится сброс значительного количества раствора, содержащих различные химические компоненты. Так, например, при кислотной промывке энергоблока 300 Мвт сбрасывается до 10 тыс. м³ разбавленных моющих растворов в специальные котлованы или бетонные бассейны-нейтрализаторы достаточной большой емкости. В них осуществляются нейтрализация и обезвреживание раствора, которые затем малыми порциями откачиваются а сбросной циркуляционный водовод, откуда со значительным разбавлением порция раствора попадает в природный водоем.

Частичная нейтрализация промывочных растворов происходит при перемешивании кислых и щелочных растворов, а окончательная — путем добавления в котлованы или бассейны технической и хлорной извести.

б) Предпусковая химическая очистка парогенераторов и тракта питательной воды

На энергоблоках с парогенераторами 140 и 240 кгс/см² предпусковой химической очистке подвергаются водяная сторона п. в. д., экономайзерная, испарительная и пароперегревательная поверхности парогенератора, а также деаэраторы и трубопроводы питательной воды и перегретого пара. На ТЭС с парогенераторами 100 кгс/см² барабанного типа пароперегреватель не под-

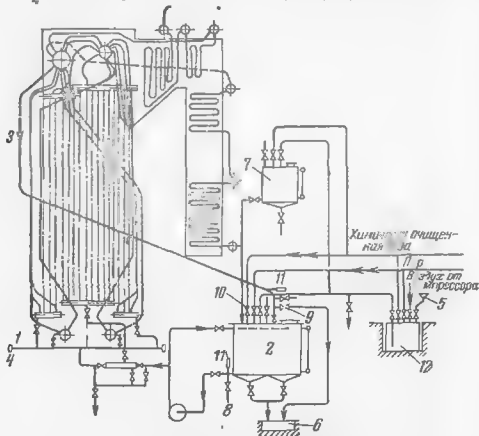


Рис. 3-6. Схема предпусковой кислотной промывки парогенератора с многократной циркуляцией.

1 — линия общего дренажа; 2 — бак для раствора кислоты; 3 — линия сброса; 4 — заглушка; 5 — деревянная пробка; 6 — дренажный приемок; 7 — мерзак; 8 — бакс крепкой серной кислоты; 9 — точка отбора п. в. д.; 10 — дренажный бак на дополнительной линии; 11 — термометр; 12 — бак-вытеснитель.

вергается химической очистке, он лишь интенсивно промывается водой и продувается паром во время пробного пуска агрегата.

На рис. 3-6 и 3-7 изображены примерные схемы устройств для предпусковой кислотной промывки барабанного и прямоточного парогенераторов с принудительной циркуляцией раствора ингибированной кислоты, подогретого вне парогенератора до заданной температуры. На рис. 3-8 изображена двухконтурная схема предпусковой кислотной промывки блока парогенератор — турбина, предусматривающая принудительную циркуляцию промывочных растворов из деаэратора через п. в. д., тракт питательной воды, экономайзер с одной стороны, с другой стороны — в барабан парогенератора, а оттуда через пераичный и промежуточный пароперегреватели по временной линии а тракт основного конденсата и деаэрагор. Для проведения предпусковой очистки энергоблока 300 Мвт и выше требуются установка мощных насосов и монтаж сложной схемы временных трубопроводов.

Предпусковая химическая очистка обычно состоит из ряда операций, в том числе: предварительная скоростная промывка водой, предварительное щелочение (обезжиривание), обработка отложений основными моющими реагентами, удаление отработанного промывочного раствора, нейтрализация остатков реагента, пассивация поверхности металла для защиты очищенной металлической поверхности от коррозии. Общая продолжительность предпусковой очистки парогенератора и тракта питательной воды составляет от 10 до 30 дней.

С целью удаления из контура омыляемых жиров и масел, а также для разрыхления отложений перед кислотной промывкой парогенератор подвергается предварительному щелочению 1%-ым раствором NaOH или Na_3PO_4 с присадкой эмульгаторов (ОП-7, ОП-10) при температуре 80—90°C в течение 6—8 ч. При наличии в контуре элементов из аустенитных сталей щелочение производится аммиачным раствором, вводимым в количестве, обеспечивающем значение $\text{pH}=10$. В качестве основного моющего раствора при проведении предпусковой очистки поверхности паросилового оборудования от окалин и ржавчины применяется главным образом 3—5%-ный раствор соляной кислоты с присадкой смеси

ингибиторов (уротропин, хинолин, катапин, ПБ 5 и др.) в количестве 0,1—0,5%-ного веса моющего раствора.

Для ослабления коррозии под действием хлорного железа в промывочный раствор, помимо ингибиторов, добавляется гидразин-гидрат из расчета примерно 100 мг/кг N_2H_4 . *Интенсивность коррозионных повреждений под действием ингибированной кислоты при температуре, равной 60—70 °С, не должна превышать 15—20 г/(м²·ч).*

Продолжительность воздействия кислоты и весь ход процесса контролируются анализами. Если кислотность рабочего раствора снизилась практически до нуля, то производится добавление новой порции кислоты. Если темп снижения кислотности рабочего раствора замедляется и концентрация кислоты имеет тенденцию стабилизироваться на некотором уровне, то это свидетельствует об окончании процесса кислотной очистки.

После вытеснения кислоты проводятся тщательная водная отмывка с целью полного удаления из всех элементов контура отработавшего кислотного раствора вместе с ржавчиной и окалинами, находящихся во взвешенном состоянии в вытесняемом растворе и выпавших из него. Для нейтрализации возможных остатков кислых реагентов контур в течение 4—6 ч подвергается последующему щелочению 0,2%-ным раствором едкого натра или 0,5%-ным раствором аммиака при температуре 80—90 °С с принудительной или естественной циркуляцией при огневом подогреве. Далее производятся вытеснение и отмывка щелочного раствора.

Промытый парогенератор опорожняется, далее вскрываются барабаны и коллекторы водяного экономайзера и экранов с целью их осмотра и очистки от шлама, а также производятся вырезки образцов труб для оценки результатов очистки.

Для обеспечения безопасной предпусковой кислотной промывки пароводяного тракта энергоблоков, имеющих элементы пароперегревателя и паропроводы, изготовленные из аустенитной стали в качестве моющих растворов применяются слабый раствор серной кислоты с гидразином, ингибированные органические кислоты (лимонная, адипиновая), а также композиции на основе комплексонов (моноцитрат аммония, трилон Б и др.) в сочетании с эффективными ингибиторами (катапин, каптакс и др.). Все растворы этих моющих веществ должны обязательно приготовляться на обессоленной воде или конденсате. Для предпусковых химических очисток непренируемых змеевиков испарительной части парогенератора, а также пароперегревателей, изготовленных из аустенитных сталей,

широко применяются 2—3%-ный раствор лимонной кислоты и 1—3%-ный раствор моноцитрата аммония, которые образуют при температуре 92—105 °С с двух- и трехвалентным железом растворимые в воде прочные комплексные соединения, не разрушающиеся при повышении значения pH раствора до 8,0—8,5. Благодаря переходу всех окислов железа в раствор можно при скорости потока 0,5—1,2 м/сек вывести их из промывочного контура и тем самым предотвратить опасность образования в нем местных завалов из отмытых окислов и ржавчины.

Для снижения скорости коррозии основного металла при использовании лимонной кислоты или моноцитрата аммония необходимо добавлять к моещему раствору смесь ингибиторов (0,02% каптакса и 0,1% ОП-10). Скорость коррозии котельных сталей при применении указанных ингибиторов составляет 3—6 г/(м²·ч). Следует иметь в виду, что применяемые органические ингибиторы при температуре 110—120 °С резко уменьшают свою эффективность и даже разрушаются.

В СССР получает положительный опыт предпусковая очистка парогенераторов ингибированной 2—3%ной адипиновой кислотой, которая в несколько раз дешевле моноцитрата аммония, но менее эффективна. Более низкая стоимость и меньшая дефицитность являются основными преимуществами адипиновой кислоты.

Монорасторы комплексонов (ЭДТА, трилон Б) недостаточно эффективно отмыщают железоокисные отложения, так как для комплексования трехвалентного железа необходимо поддерживать оптимальную величину pH. Успешные результаты были получены при предпусковых промывках с применением композиций комплексобразующих реагентов, в состав которых входят трилон Б (от 3 до 5 г/кг), лимонная кислота (от 2 до 5 г/кг), а также восстановители (гидроксиламин, гидразин — от 0,2 до 0,5 г/кг), которые переводят трехвалентное железо в двухвалентное.

в) Эксплуатационная очистка парогенераторов и тракта питательной воды

К эксплуатационной очистке парогенераторов барабанного типа обычно приходится прибегать в том случае, когда на вырезанных образцах труб толщина слоя водонесываемых отложений достигает 1,0—1,5 мм в конвективных и 0,2—0,3 мм в радиационных поверхностях.

Для поддержания должной чистоты внутренней поверхности паробразующих труб прямоточных парогенераторов требуется периодически проводить эксплуатационные химические промывки. Продолжительность межпромывочного периода работы прямоточного парогенератора зависит от допустимой величины образовавшихся в нем отложений, которая характеризуется понятием «солевая емкость» (солеемкость) агрегата.

Для ориентировочных прикидок допустимой продолжительности работы прямоточного парогенератора между очередными кислотными промывками можно принять солевую емкость в размере 20—30 кг на 100 т/ч номинальной паропроизводительности для котлов с вынесенной переходной зоной и соответственно 7—10 кг для парогенераторов без вынесенной зоны.

Количество отложений в парогенераторе можно приближенно определять путем систематической регистрации его нагрузки, а также химического состава питательной воды и проб выдаваемого перегретого пара. При этом следует учитывать и количество солей, вымываемых с поверхности нагрева при водных отбивках, а также временное ухудшение качества питательной воды в первые часы после растопки.

Наиболее надежным способом установления оптимальной продолжительности межпромывочного периода работы для каждого прямоточного парогенератора является систематическое вырезание контрольных отрезков труб при остановках парогенератора из наиболее характерных в отношении загрязнений участков поверхности нагрева парогенератора (обычно из экономайзера, переходной зоны, шири, н. р. ч., промежуточного пароперегревателя) с последующей количественной оценкой отложений на этих контрольных отрезках.

Щелочная «выварка» парогенератора барабанного типа осуществляется горячим раствором едкого натра, соды или тринатрийфосфата:



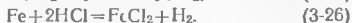
Эксплуатационная промывка парогенераторов барабанного и прямоточного типов 4—6%-ным раствором ингибированной соляной кислоты позволяет успешно удалять карбонатные, фосфатные и железистоокисные отложения:



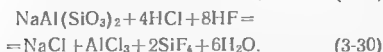
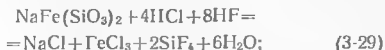
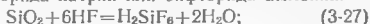
Образующиеся в результате воздействия соляной кислоты хлориды кальция, магния и железа хорошо

растворимы в воде, вследствие чего они удаляются из очищаемого агрегата вместе с промывочным раствором.

При наличии накипи смешанного характера большое значение приобретает растворение кислотой того подслоя из закиси железа, который является своеобразным цементом, скрепляющим накипь с поверхностью стенки парогенератора. Разрыхление и удаление соляной или серной кислотой этого подслоя приводит к тому, что связь между накипью и металлом или между металлом и слоем окислов ослабляется; накипь взламывается и отваливается. Протекание этого процесса усиливается благодаря выделению пузырьков водорода в результате воздействия кислоты на металл:



Ввиду того, что силикатные накипи не поддаются воздействию одной соляной кислоты, для их удаления применяется смесь соляной и плавиковой кислот либо к промывочному раствору соляной кислоты добавляется 15—20 г/кг фторида натрия или бифторида аммония.



Так как фториды ядовиты, то для слива отработанных растворов требуются специальные колодцы, в которых осуществляется их обезвреживание.

Перспективными реагентами для проведения эксплуатационных химических очисток парогенераторов являются органические комплексообразователи — комплексоны. Из них в первую очередь находят применение этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) и динатриевая соль ЭДТА (известная под названием трилон Б), которые обладают способностью образовывать высокопрочные, хорошо растворимые и малодиссоциированные комплексоны. Монорастворы комплексонов особенно эффективно отмывают кальциевые и магниевые накипи. При наличии в составе отложений кремниевой кислоты и маслянистых загрязнений целесообразно вводить в композиции на основе комплексонов фторид или бифторид аммония и моющие препараты (ОП-7, ОП-10).

Применение в качестве моющих ингибированных растворов ЭДТА и трилона Б не требует проведения специальной дополнительной операции по пассивации отмытых поверхностей металла,

Так как на них остается тонкая защитная пленка магнетита. Возможно также использование основного оборудования паросиловой установки без создания специальных промывочных схем. Так, например, для парогенераторов барабанного типа может быть использована естественная циркуляция при слабом обогреве поверхностей труб, а для прямоточных — рабочая растопочная схема.

Комплексоны применимы при любых конструктивных материалах, в том числе и при наличии поверхностей нагрева из аустенитных нержавеющей сталей. Благодаря этому промывка комплексо-нами или композициями на их основе существенно сокращает длительность химической очистки. В связи с полным разложением комплексонов и комплексонов при рабочих температурах парогенераторов не требуется тщательное удаление промывочных растворов.

К недостаткам комплексонов (ЭДТА, триола В) могут быть отнесены их высокая стоимость и дефицитность, а также значительная зависимость от величины рН их комплексообразующей способности по отношению к отдельным катионам-комплексообразователям. Эксплуатационная очистка парогенератора барабанного типа ТП-170 с применением композиций на основе комплексонов занимает около суток вместо обычных 8—10 суток для очистки минеральными кислотами.

При кислотной очистке парообразующих труб от отложений, состоящих в основном из металлической меди, на очищаемой поверхности основного металла остается тонкий слой металлической меди. Для того чтобы избежать этого, эксплуатационная химическая очистка парогенераторов от отложений меди и магнетита ведется путем заполнения парогенератора и циркуляции в нем 3%-ного раствора лимонной кислоты с добавлением NH_3 до рН=3,5 при 95°C. Затем раствор охлаждается до 60°C, и значение рН повышается до 9—10 дозированием аммиака, а также добавляется окислитель (гипохлорит или бромат натрия, персульфат аммония и др.) с последующим растворением полученных окислов меди аммиачным раствором (NH_4OH) и выводом их из котла в форме медноаммиачных комплексов. Далее промывочный раствор дренируется, и парогенератор промывается обессоленной водой.

Для удаления водовыведенных отложений соединений натрия, кальция и магния прямоточные парогенераторы периодически подвергаются водным промывкам с использованием для этой цели деаэрированного конденсата либо обессоленной воды с температурой 100—250°C. Скорость движения промывочной воды 0,5—1 м/сек. Сначала водная промывка проводится в течение 2—3 ч по замкнутому контуру: деаэратор — насос — парогенератор — растопочный сепаратор — деаэратор, а затем

производится вытеснение промывочного раствора из контура, которое продолжается до тех пор, пока жесткость и щелочность воды на входе в парогенератор и выходе из него будут практически совпадать.

Для периодического удаления стложений, содержащих в основном легкорастворимые соли, могут быть также применены непродолжительные (1—2 ч) проводящие промывки парогенераторов. С этой целью парогенератор отключается от паровых магистралей, и настолько снижаются давление и нагрузка, чтобы в растопочный сепаратор попеременно поступали влажный и перегретый пар.

Для эксплуатационной очистки конденсаторов применяется ряд методов, в том числе непрерывная механическая очистка конденсаторных труб резиновыми шариками и периодическая механическая очистка (ершами и водо-воздушными пистолетами) и кислотные промывки.

На рис. 3-9 изображена схема непрерывно действующего устройства, с помощью которого рыхлые отложения удаляются из конденсаторных труб. Пористые резиновые шарики диаметром, близким к диаметру труб, рециркулируют в специально созданном контуре. Эти шарики специальным изосом или водоструйным эжектором 1 через загрузочную камеру 2 подаются в нагнетательный трубопровод охлаждающей воды и вместе с ней поступают в конденсатор. Проходя по трубам конденсатора 3, они отдирают рыхлые отложения со стенок конденсаторных труб, по пути оmyваются в охлаждающей воде и затем улавливаются конусной стенкой 4, установленной на сливе охлаждающей воды за конденсатором. Далее резиновые шарики поступают на всас водоструйного эжектора 1, и процесс повторяется.

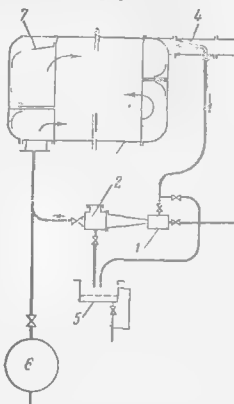


Рис. 3-9 Схема самоочистки конденсаторов резиновыми шариками.

1 — водоструйный эжектор; 2 — загрузочная камера; 3 — конденсатор; 4 — патрубок с конусной стенкой; 5 — сливной бак; 6 — насос охлаждающей воды. 7 — расходительная сетка.

Загрузка шариков в систему циркуляции и извлечение их из системы для осмотра и замены производятся во время работы турбоагрегата.

Способ тепловой очистки конденсатора предусматривает прокачку воздуха специальным вентилятором через калорифер, где он подогревается до 60°C и выше и далее поступает в конденсаторные трубы через водяную камеру очищаемого сектора конденсатора. Продувка горячим воздухом производится в течение 6—8 ч до полного высыхания отложений внутри труб, когда происходит растрескивание и отслаивание отложений. При включении конденсатора эти диспергированные отложения вымываются потоком воды. Такая очистка может производиться по отдельным секторам конденсатора и не требует остановки турбоагрегата.

Для удаления карбонатной накипи применяется промывка конденсаторов 4—5%-ным раствором соляной кислоты с добавкой 0,2% ингибиторов (уротропин, тиомочевина, ПБ-5)

Кислотная промывка загрязненных конденсаторов проводится при температуре $50\text{--}60^{\circ}\text{C}$ в течение 2—3 ч.

Для удаления медно-железистых отложений может быть применена промывка конденсатора раствором композиций на основе комплексонов. Состав такой композиции следует подбирать с учетом характера отложений, требующих для своего перевода в раствор поддержания определенной величины pH.

В теплообменниках, где подогреваются сырые или химически обработанные природные воды с преобладающей карбонатной жесткостью, в подавляющем большинстве случаев отлагается преимущественно карбонатная накипь, и растворение ее ингибированной соляной кислотой, как правило, удовлетворительно идет при температуре промывочного раствора порядка $30\text{--}40^{\circ}\text{C}$. С помощью промывочного насоса создается скорость циркуляции кислотного раствора в промываемом аппарате не ниже 0,15—0,2 м/сек. Продолжительность промывки теплообменных аппаратов ингибированной соляной кислотой составляет 2—4 ч.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПАРА, ОБРАЗОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ ПО ПАРОВОМУ ТРАКТУ И СПОСОБЫ ИХ УДАЛЕНИЯ

4.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Переход в пар содержащихся в испаряемой котловой воде продуктов коррозии конструкционных материалов, солей и кремниекислых соединений с последующим переносом их насыщенным паром в перегреватель и далее в турбину и образованием отложений в ее проточной части является результатом сложного комплекса физи-

ко-химических, физических и тепломеханических процессов, взаимосвязанных между собой.

В парогенераторах с многократной циркуляцией разделение пароводяной смеси, поступающей в барабан, никогда не бывает полным, поэтому насыщенный пар, выходя из барабана, увлекает с собой некоторое количество капелек котловой воды вместе с содержащимися в ней растворенными солями и щелочами, а также коллоидными и грубодисперсными частицами органических и минеральных веществ. При внезапном снижении давления в парогенераторе и значительных колебаниях нагрузки может наблюдаться кратковременное значительное ухудшение качества пара вследствие бросков котловой воды, вызванных набуханием и бурным вскипанием ее. То же имеет место при значительном повышении уровня воды в барабане вследствие перепитки парогенератора. Броски котловой воды фиксируются заметным снижением температуры перегрева пара и показаниями солемеров.

С ростом содержания в котловой воде натриевых соединений, органических веществ и взвешенных твердых частиц возникает опасность пенообразования. Значительное накопление на поверхности стоя воды пены и вынос ее или продуктов разрушения пены также могут привести к сильному увлажнению и загрязнению пара. Таким образом, одним из факторов загрязнения насыщенного пара является механический унос капелек котловой воды, которые образуются в результате разбрызгивания ее в барабане парогенератора, а также при разрушении паровых пузырьков в процессе набухания и вспенивания котловой воды.

Практически все вещества, содержащиеся в котловой воде, обладают способностью в той или иной мере растворяться в сухом насыщенном и перегретом паре. Характер поведения этих веществ в паровой фазе определяется главным образом их физико-механическими свойствами, а также параметрами пара. С повышением давления и соответственно плотности вырабатываемого в парогенераторе пара заметно возрастает образование истинных паровых растворов различных нелетучих неорганических соединений. При давлении, большем 60 кгс/см^2 , заметно увеличивается растворимость в паре окислов железа и кремниевой кислоты. Натриевые соединения (NaOH , NaCl , Na_2SO_4)

начинают растворяться в паре при более высоких давлениях.

В конечном счете на качество пара, производимого барабанным парогенератором, влияют следующие факторы:

а) солевые составы питательной и котловой воды, а также воды, используемой для регулирования температуры перегретого пара во впрыскивающих пароохладителях;

б) высота и объем парового пространства барабана, способы ввода пароводяной смеси в барабан и способ отвода насыщенного пара из барабана; наличие и эффективность работы внутрикотловых сепарирующих, паропромывочных и других устройств;

в) эксплуатационный режим парогенератора (величина и равномерность нагрузки, положение уровня воды в барабане и пр.).

Относительная величина загрязнения пара характеризуется коэффициентом уноса K_y , который определяется по формуле

$$K_y = \frac{a_n}{A_{кв}}, \quad (4-1)$$

где a_n и $A_{кв}$ — солесодержание или концентрация какого-либо вещества в паре и котловой воде, $мгг/кг$.

В парогенераторах различают унос капельный и избирательный. Унос называют капельным в том случае, когда загрязнение пара происходит вследствие выноса веществ, содержащихся в котловой воде, в пар с капельками последней. Если же загрязнение пара происходит вследствие растворения в сухом насыщенном и перегретом паре некоторых веществ, содержащихся в котловой воде, то такой унос называют избирательным.

В общем случае величина коэффициента уноса определяется формулой

$$K_y = K_{к.у} + K_{из.у} = \frac{a_{к.у}}{A_{кв}} + \frac{a_{из.у}}{A_{кв}}, \quad (4-2)$$

где $K_{к.у} = a_{к.у}/A_{кв}$ — коэффициент капельного уноса; $K_{из.у} = a_{из.у}/A_{кв}$ — коэффициент избирательного уноса; $a_{к.у}$ — капельный унос, $мгг/кг$; $a_{из.у}$ — избирательный унос, $мгг/кг$.

$$a_{к.у} + a_{из.у} = a_n, \text{ } мгг/кг. \quad (4-3)$$

Вывод вредных примесей из цикла и поддержание эксплуатационных норм качества котловой воды в парогенераторах барабанного типа достигаются с помощью непрерывной продувки. На блоках с прямоточными парогенераторами представляется возможным выводить из пароводяного цикла только часть примесей, главным образом кальциевых соединений и продуктов коррозии, накапливающихся на поверхностях нагрева парогенераторов, с последующим периодическим удалением образовавшихся отложений посредством водной или химической промывок.

Что же касается кремниевой кислоты, натриевых соединений и окислов меди, то их истинная растворимость в сухом насыщенном и перегретом паре с. в. д. и с. к. д. значительно выше, чем действительная их концентрация в питательной воде прямоточных парогенераторов. Поэтому практически все количество указанных веществ полностью выносятся из парогенератора и является источником образования опасных отложений в проточной части турбины. В парогенераторе оседают лишь соединения, характеризующиеся малой растворимостью.

Поскольку в перегретом паре, производимом прямоточными парогенераторами, содержание неорганических соединений примерно такое же, как и в питательной воде, необходимо обеспечить высокое качество последней, чтобы снабжать турбины паром надлежащей чистоты. С этой целью на ТЭС с прямоточными парогенераторами околокритического и сверхкритического давлений должны, помимо обессоливания добавочной питательной воды, проводиться систематический вывод из цикла солей и продуктов коррозии конструкционных материалов, оставшихся в паре по выходе его из турбины, а также попавших в тракт питательной воды с производственными конденсатами и дренажами.

Опыт эксплуатации ТЭС показывает, что при недостаточной чистоте пара проточные части турбин и пароперегреватели загрязняются натриевыми соединениями, кремниевой кислотой, а также продуктами коррозии железа, меди, латуни и никеля. Рентгеноструктурный и термографический фазовый анализы отложений в проточной части турбин обнаруживают присутствие в них FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , CuO , Cu_2O , Na_2SiO_3 , Na_2SO_4 , SiO_2 и других примесей. Источниками появления в цикле

ТЭС этих веществ являются примеси, проникающие в конденсат с охлаждающей водой через неплотности конденсаторов; проскок тонкодисперсной кремниевой кислоты в обессоленную природную воду, а также недостаточная коррозионная стойкость труб конденсаторов и регенеративных подогревателей, изготовленных из латуни, медноникелевых сплавов и монель-металла. По мере усовершенствования методов подготовки питательной воды увеличивается доля загрязнений, приходящихся на продукты коррозии таких конструкционных материалов, как медь, железо, никель, цинк, кобальт и др., что подтверждается составом отложений, образующихся в проточной части турбин современных ТЭС. Так, например, на лопатках и диафрагмах ц. в. д. турбин энергоблоков с. к. д. обнаруживаются отложения, состоящие на 85—95% из смеси окиси и закиси меди.

Состав примесей и их концентрация в перегретом паре оказывают влияние как на степень отложения их в проточной части турбины, так и на распределение отложений по ее ступеням. Последнее имеет немаловажное значение, так как в отношении снижения пропускной способности лопаточного аппарата отложение солей *в ступенях высокого давления, имеющих небольшие проходные сечения, намного опаснее, чем такое же количество отложений, возникшее в ступенях среднего и низкого давлений.*

Характерным для отложений является неравномерность распределения их по отдельным ступеням турбины. Загрязнению больше всего подвержены малообтекаемые поверхности либо поверхности, омываемые паром с малой скоростью. К первому случаю относятся поверхности, от которых отрывается поток пара: спинки лопаток диафрагм и дисков, кромки лопаток, внутренняя поверхность бандажей и т. д. Ко второму случаю относятся поверхности вне потока струи пара: отверстия дисков, неплотности в стыках протечки пара.

Можно утверждать, что лопаточный аппарат турбин энергетических блоков с. к. д. значительно более чувствителен к отложениям солей и продуктов коррозии, чем парособразующие и пароперегревательные трубы парогенераторов. Если парогенератор с. к. д. может, как правило, работать без существенного снижения надежности и экономичности при наличии на его поверхности наг্রে-

ва 100 кг и ботее твердых отложений, то даже самые незначительные отложения (несколько килограммов) в проточной части соответствующей турбины (300—500 Мвт) увеличивают перепад давлений в промежуточных ступенях, и как следствие этого процесса происходит существенное ограничение номинальной мощности турбины. Неравномерное распределение отложений между рабочими лопатками и соплами приводит к изменению степени реакции по ступеням выше расчетных, что обуславливает возрастание осевых усилий, действующих на упорный подшипник. Увеличение шероховатости лопаток, искажение профилей каналов и перераспределение тепловых перепадов в ступенях из-за отложений приводят к заметному снижению экономичности турбины.

Количество веществ, отлагающихся в проточной части турбины за межпромывочный период, которое не сказывается заметно на уменьшении внутреннего к. п. д. турбины и ограничении ее мощности, называют солеемкостью. При наличии водорастворимых отложений и частых остановок турбины, во время которых отложения вымываются, солеемкость турбины можно рассматривать как количество отложений, накапливающихся в ней за период между остановками. Например, солеемкость турбины 200 Мвт оценивается приблизительно в 5 кг.

Основными нормируемыми показателями качества пара на входе в турбину являются допустимые значения его соледержания и кремнедержания, при поддержании которых обеспечивается достаточно длительная работа турбины без заметного ухудшения ее экономичности и снижения мощности. Нормируется также допустимая концентрация в паре свободной углекислоты с целью предотвращения коррозии обратных конденсаторов, а также оборудования, имеющего детали, изготовленные из латуни или других медных сплавов, подверженных углекислотной коррозии.

Базируясь на статистических данных по результатам длительной эксплуатации большого числа турбин различных типов и мощностей, установили нормы допустимой концентрации для ряда примесей в перегретом паре перед турбинами, поддержание которых позволяет избежать опасного заноса ими проточной части (см. табл. 4-1).

Нормы качества перегретого пара на входе в турбину

Давление пара, кгс/см ²	Максимально допустимое содержание веществ в паре, мг/кг					
	Соединения натрия в пересчете на Na ⁺		Кремниевая кислота в пересчете на SiO ₂ — при $p \geq 70$ кгс/см ²		Свободная углекислота CO ₂	
	КЭС	ТЭЦ	КЭС	ТЭЦ	КЭС	ТЭЦ
До 40	60	100	—	—	10	20
40—100	15	25	20	30	5	10
Выше 100	10	15	20	30	0	0

Облегчение требований, предъявляемых к качеству пара, вырабатываемого в парогенераторах промышленных ТЭЦ в условиях повышенного солевого содержания и кремнесодержания питательной воды, обусловлено: а) наличием отборного пара, уносящего с собой из цикла значительную долю (иногда больше половины) солей, вносимых паром из барабанов парогенераторов; б) значительными периодическими колебаниями паровой нагрузки турбин, способствующими самоочищению проточной части и, в частности, выносу с паром смытых загрязнений в отбор.

Для обеспечения повышенных требований к качеству пара на ТЭС с энергоблоками с к. д. должны осуществляться следующий комплекс основных мероприятий: а) глубокая очистка добавочной питательной воды и конденсатов; б) обескислороживание и коррекционная обработка питательной воды (дозирование гидразина, аммиака); в) обеспечение высокой плотности конденсаторов; г) предотвращение забросов в тракт питательной воды концентрата испарителей; д) предупредительная и регулярные эксплуатационные химические очистки парогенераторов и тракта питательной воды; е) правильный выбор коррозионностойких конструктивных материалов при изготовлении труб для регенеративных подогревателей и конденсаторов; ж) обеспечение эффективной консервации паросилового оборудования во время его простоев; з) оснащение парогенераторов барабанного типа эффективными сепарирующими и паропромысловыми устройствами; и) систематическое поддержание нормируемых показателей качества питательной и котловой воды (см. гл. 5).

Применение всего указанного выше комплекса мероприятий все же не дает гарантии в том, что в условиях длительной эксплуатации проточная часть турбин будет полностью лишена солевых оглозений. Поэтому нередко возникает необходимость проводить периодические очистки проточной части турбин.

4-2. ПРИЧИНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПАРА

а) Капельный унос

Увлажнение пара в парогенераторе барабаниго типа происходит главным образом в результате механического дробления струй котловой воды, срыва жидкостной пленки с поверхности устройств первичной сепарации и распыления котловой воды при разрушении оболочек паровых пузырей. Унос капель влаги насыщенным паром называют обычно механическим уносом.

Распределение капель в паровом пространстве и унос их с паром из барабана зависят от скорости движения пара через зеркало испарения и паровой объем барабана, работа которых характеризуется следующими показателями:

а) удельная паровая нагрузка зеркала испарения, выраженная в кубических метрах пара в час на 1 м² зеркала испарения:

$$R_{\text{з.и}} = \frac{D_{\text{п}} v'' \cdot 10^3}{F_{\text{з.и}}}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}); \quad (4.4)$$

б) удельная паровая нагрузка парового объема барабана, выраженная в кубических метрах пара в час на 1 м³ парового пространства:

$$R_{\text{п.о}} = \frac{D_{\text{п}} v'' \cdot 10^3}{V_{\text{п.о}}}, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч}), \quad (4.5)$$

где $D_{\text{п}}$ — паропроизводительность парогенератора, т/ч; v'' — удельный объем насыщенного пара, м³/кг; $F_{\text{з.и}}$ — площадь зеркала испарения, м²; $V_{\text{п.о}}$ — паровой объем барабана, м³.

Степень выноса капелек котловой воды с паром зависит также от скорости выхода пароводяной смеси из

парогенераторных труб в барабан, степени погашения живой силы струй смеси внутрибарабанными устройствами и от эффективности помещенных в барабане сепарационных устройств.

Существенное влияние на сепарацию из пара капелек котловой воды, выбрасываемых с зеркала испарения и поднимающихся по инерции на определенную высоту, оказывает высота парового пространства в барабане. При малой высоте парового пространства значительное количество таких капелек может достигнуть верха парового пространства и попасть в пароводящие трубы даже при весьма малой скорости подъема пара в паровое пространство. С увеличением высоты парового пространства все большая часть подпрыгивающих капель, не достигнув уровня пароводящей трубы, выпадает обратно на зеркало испарения. При подаче пароводящей смеси под зеркало испарения возникает явление набухания котловой воды в барабане, которое происходит по следующей причине. Пузырьки пара движутся через слой котловой воды толщиной $h_{\text{к.в.}}$ с некоторой скоростью $W_{\text{п.}}$. Это значит, что они находятся в толще воды какое-то время, равное:

$$\tau = \frac{h_{\text{к.в.}}}{W_{\text{п.}}} \quad (4-6)$$

Чем меньше скорость $W_{\text{п.}}$, тем дольше пузырьки пара находятся в котловой воде. Это ведет к насыщению воды паром, т. е. к образованию пароводящей смеси, плотность которой заметно меньше плотности воды. В результате уровень котловой воды в барабане оказывается выше уровня, отмечаемого по стеклу. Набухание котловой воды приводит к уменьшению фактической высоты и соответственно рабочего объема парового пространства барабана и тем самым способствует повышению влажности выдаваемого пара. Паровые пузыри, образовавшиеся на поверхности нагрева, всплывают через толщу котловой воды до границы раздела фаз, транспортируют коллоидные и взвешенные частицы, а затем разрушают поверхностный слой котловой воды и вместе с тонкодисперсными каплями выбрасываются в паровое пространство барабана.

При выбрасывании пароводящей смеси на уровень воды, под уровень ее или на различные отбойные сепарирующие устройства образуется устойчивая пена, которая представляет собой скопление на поверхности раздела фаз всплывших толщ котловой

воды паровых пузырей, разделенных тонкими жидкостными пленками сложного строения. При разрушении паровых пузырей в верхнем слое пены происходят дробление их пленочных оболочек и непрерывный унос тонкодисперсной влаги в паровое пространство барабана.

Унос котловой воды из барабана при вспенивании ее зависит главным образом от величины занятого пеной парового объема и набухания водяного объема, сопутствующего вспениванию котловой воды. Высота слоя пены тем больше, чем больше ее стойкость, определяемая длительностью существования отдельных паровых пузырей.

На интенсивность пенообразования и стабильность пены оказывает влияние поверхностное натяжение испаряемой воды. Так как пенообразование связано со значительным увеличением поверхности и требует затраты работы, то этот процесс осуществляется тем легче, чем меньше поверхностное натяжение раствора. Поэтому присутствие в последнем поверхностно активных веществ (понижающих поверхностное натяжение) способствует пенообразованию котловой воды.

Плохо или частично смачиваемые (гидрофобные) частицы шлама и продукты коррозии способствуют стабилизации пены, так как они прочно прилипают к поверхности пузырьков пара и вместе с ними переходят в пену, образуя своего рода жесткий каркас, повышающий структурно механические свойства пены. Твердые частицы, кроме того, препятствуют срастыванию пузырьков в более крупные и тем самым также повышают стойкость пены. Смачиваемые частицы шлама тонут и лишаются пеностабилизирующих свойств. При наличии же в котловой воде масла взвешенные частицы адсорбируют его на своей поверхности, теряют способность к смачиванию, всплывают и устойчиво держатся в слое пены, повышая прочность ее оболочек. При движении сквозь толщу котловой воды паровых пузырей, оболочки которых имеют армированную структуру, слияние их затруднительно и процесс барботажа идет в виде массы мелких паровых пузырей, всплывающих с пониженной скоростью, что приводит к большему набуханию уровня в барабане.

Существенную роль в пенообразовании котловой воды играют общее содержание веществ в котловой воде (солеосодержание) и процент содержащихся в ней щелочных соединений. Едкий натр переводит грубодисперсные вещества в коллоидное состояние, наиболее благоприятствующее вспениванию котловой воды, поэтому котловая вода с повышенным содержанием NaOH склонна к интенсивному и устойчивому пенообразованию.

«Критическим» солеосодержанием называют солеосодержание котловой воды, начиная с которого происходит резкое ухудшение качества пара, обусловленное вспениванием котловой воды. «Критической» нагрузкой называют то удельное напряжение парового объема, при котором резко возрастает вынос солей с капельками котловой воды (рис. 4-1 и 4-2).

Величина критической нагрузки парогенератора зависит от многих факторов: давления, состава растворенных и взвешенных веществ в котловой воде и степени

дисперсности постели, высоты парового пространства в барабане, эффективности сепарационных и паропромысловых устройств. Критическая нагрузка устанавливается на основании специальных теплотехнических испытаний (см. гл. 5). В качестве эксплуатационной принимают допустимую нагрузку $D_d = (0,7--0,8) D_{кр}$,

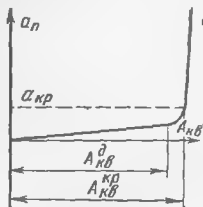


Рис. 4-1. Зависимость солевого содержания пара от солевого содержания котловой воды.

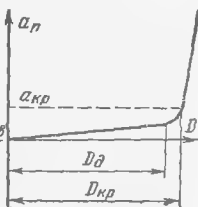


Рис. 4-2. Зависимость солевого содержания пара от производительности парогенератора.

а в качестве эксплуатационной нормы солевого содержания котловой воды принимают допустимую величину

$$A_{кв}^д = (0,7 - 0,8) A_{кв}^{кр}.$$

С ростом давления пара величины критического солевого содержания и критической нагрузки заметно уменьшаются.

Влияние нагрузки барабана или, точнее, скорости прохода пара через водяной объем барабана на интенсивность вспенивания характеризуется сложной зависимостью: при малых нагрузках увеличение скорости пара приводит к росту толщины слоя пены (пузырьковый режим); при некоторых средних значениях скорости пены достигает максимума и мало зависит от нагрузки (пенный режим); при дальнейшем увеличении скорости пара высота слоя пены уменьшается (область интенсивного разрушения пены и перехода к струйному режиму). По мере увеличения скорости пара за счет динамического воздействия потока пара на пузырьки пены разрушение пузырьков постепенно распространяется от верхних слоев вглубь, и пена совсем перестает существовать, наступает чисто струйный режим.

При капельном уносе загрязнения поступают в пар с капельками котловой воды, уносимыми им из барабана парогенератора, причем количество содержащихся

в паре различных веществ пропорционально их концентрации в котловой воде, что выражается следующим равенством:

$$K_{к.у} = \frac{a_{к.у}}{A_{к.в}} = \frac{C_{\text{SiO}_3}^{\text{п}}}{C_{\text{SiO}_3}^{\text{к.в}}} = \frac{C_{\text{SiO}_4}^{\text{п}}}{C_{\text{SiO}_4}^{\text{к.в}}} = \frac{C_{\text{Cl}}^{\text{п}}}{C_{\text{Cl}}^{\text{к.в}}} \text{ и т. д., (47)}$$

где $K_{к.у}$ — коэффициент капельного уноса; $a_{к.у}$ — капельный унос, мг/кг; $A_{к.в}$ — солесодержание котловой воды, мг/кг; индексами «п» и «к.в» обозначены концентрации веществ в паре и котловой воде.

Осушение влажного пара осуществляют специальные сепарирующие внутрикотловые устройства, в том числе отбойные и дроссельные щиты, скрубберы, внутрибарабанные циклоны, пленочные сепараторы, разделительные барабаны и т. д. Эти устройства в условиях нормальной эксплуатации парогенератора обеспечивают влажность насыщенного пара на выходе его из барабана порядка 0,01—0,03%.

б) Избирательный унос

С ростом давления насыщенный водяной пар приобретает свойства, приближающие его к жидкости; при высокой плотности он обладает способностью растворять заметные количества ряда практически нелетучих неорганических соединений. При наличии избирательного выноса неорганических соединений количественное соотношение этих соединений в сухом насыщенном паре существенно отличается от соотношения их в котловой воде, т. е. соотношение (4-7) не выполняется.

При взаимном контакте водных растворов и насыщенного пара устанавливается термодинамическое равновесие в соответствии с законом распределения веществ между двумя несмешивающимися средами, которое обуславливает образование истинных паровых растворов неорганических соединений. Проведенными исследованиями установлено, что интенсивность избирательного выноса неорганических соединений из жидкой фазы в паровую зависит от прочности их связи с водой, которая тем сильнее, чем выше степень гидратации молекул и ионов, составляющих эти соединения. По этой причине легче всего выносятся молекулы слабых электроли-

тов, а труднее — почти полностью диссоциированные и гидратированные ионы сильных электролитов

Отсюда следует, что *наибольшую растворимость в паре имеют вещества, находящиеся в котловой воде в виде молекул или малодиссоциированных соединений. Значительную растворимость в паре также имеет хлористый натрий, хотя он и не представляет собой малодиссоциированное в водном растворе вещество.*

Характерно, что присутствие в паровом растворе того или иного неорганического соединения не препятствует переходу в этот же раствор других неорганических соединений в количествах, отвечающих их индивидуальным растворимостям в насыщенном водяном паре при тех же параметрах его.

Распределение неорганических соединений между насыщенным паром и водой количественно характеризуется величиной так называемого коэффициента распределения K_p , который представляет собой отношение концентрации данного вещества в насыщенном водяном паре $a_{п.у}$ к общей концентрации его в кипящей котловой воде $A_{к.в.}$ и для парогенераторов сверхвысокого и сверхкритического давлений численно равен коэффициенту избирательного уноса $K_{из.у}$:

$$K_p = K_{из.у} = \frac{a_{п.у}}{A_{к.в.}} \quad (4.8)$$

Следовательно, концентрацию любого неорганического соединения в насыщенном паре в связи с избирательным уносом можно определить, пользуясь формулой

$$a_{п.у} = K_p A_{к.в.} \quad (4.9)$$

Экспериментально доказано, что величины коэффициентов распределения для большинства неорганических соединений, находящихся в паровом растворе, зависят в основном от давления, которое определяет плотности пара и воды.

Для коэффициентов распределения, отвечающих одинаковой форме существования растворенной примеси в водяной и паровой фазах, существует следующая зависимость:

$$K_p = \left(\frac{\rho_{п.у}}{\rho_{к.в.}} \right)^n, \quad (4.10)$$

где $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{кв}}$ — плотности соответственно пара и котловой воды; n — число молекул H_2O , гидратирующих данную примесь.

Показатель степени n , который косвенно характеризует способность данного вещества переходить из воды в пар, сохраняет свое постоянное значение в широком диапазоне изменения параметров системы и является величиной индивидуальной для данного вещества, не зависящей от его начальной концентрации в какой-либо из фаз. Для очень слабых электролитов (гидратирован-

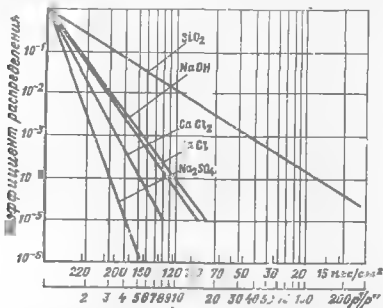


Рис. 4-3 Зависимость коэффициента распределения для различных неорганических соединений от отношения плотностей воды и пара.

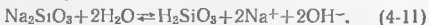
ные оксиды железа, алюминия, бора и др.) $n < 1$; для слабых электролитов (кремниевая кислота) $n = 1-3$; для сильных электролитов $n = 4-9$.

На рис. 4-3 в логарифмических координатах даны экспериментально найденные значения коэффициентов распределения для типичных неорганических соединений, присутствующих в котловой воде, в зависимости от отношения плотностей воды и пара. Зависимость (4-10) в логарифмических координатах выражается прямыми линиями, которые под различными углами наклона, определяемыми соответствующими значениями n для данного соединения, сходятся в критической точке воды, в которой для всех соединений $K_p = 1$.

Если известны значения коэффициентов распределения для различных неорганических соединений, то можно расчетным путем ориентировочно определить концентрацию любой примеси в сухом насыщенном паре при поддержании того или иного водного режима парогенератора барабанного типа.

Кремниевая кислота уже при средних давлениях обладает способностью к избирательному уносу с сухим насыщенным паром; по мере роста давления величина коэффициента распределения для SiO_2 резко возрастает. Так, например, величина $K_p^{\text{SiO}_2}$ при $p=80 \text{ кгс/см}^2$ составляет 0,5—0,6%; при $p=110 \text{ кгс/см}^2$ — примерно 1%, а при $p=180 \text{ кгс/см}^2$ она достигает 8%. Кремниевая кислота растворяется в насыщенном паре в виде молекул H_2SiO_3 , H_4SiO_4 или $\text{SiO}_2(\text{OH})_2$, т. е. в виде слабогидратированных или полимеризованных частиц SiO_2 (общая формула $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). В то же время в щелочной котловой воде кремний обычно находится в виде силиката натрия и лишь частично в виде кремниевой кислоты. Следовательно, коэффициент распределения будет тем меньше, чем меньше в воде содержится кремния в виде кремниевой кислоты или чем больше в воде силиката натрия.

В условиях котловой воды кремниевая кислота может образоваться в результате гидролиза силикатных соединений натрия:



При недостаточной щелочности котловой воды равновесие этой реакции сдвигается в сторону образования кремниевой кислоты и вынос ее увеличивается. Характеристикой гидролиза служит степень его x , выражающаяся отношением концентрации кремниевой кислоты к суммарной концентрации силикатных соединений в молекулярной форме:

$$x = \frac{C_{\text{H}_2\text{SiO}_3}}{C_{\text{общ SiO}_2}}. \quad (4-12)$$

Изменение коэффициента распределения кремниевой кислоты с изменением рН можно объяснить тем, что с повышением гидратной щелочности котловой воды понижается степень гидролиза содержащихся в ней силикатных соединений натрия. Следовательно, чтобы затормозить гидролиз и уменьшить тем самым унос молекул кремниевой кислоты паром, необходимо поддерживать

в котловой воде определенную гидратную щелочность ($\text{pH} > 10$), которой отвечает малая доля молекулярной формы кремнесодержания.

Данные опытов разных исследователей по изучению влияния pH на вынос кремниевой кислоты с паром при давлениях 100—200 кгс/см^2 показывают, что с ростом значения pH раствора вынос кремниевой кислоты существенно уменьшается (рис. 4-4). Так, например, при 140 кгс/см^2 и гидратной щелочности воды 0,5—1 мг-экв/кг $K_p^{\text{SiO}_2} = 3\%$; с повышением гидратной щелочности до 10—15 мг-экв/кг $K_p^{\text{SiO}_2} = 1,5 \pm 0,5\%$.

Зная величину K_p для SiO_2 , можно по заданному кремнесодержанию пара определить допустимое кремнесодержание котловой и питательной воды.

В практике эксплуатации ТЭС с к. д. отмечаются случаи превышения содержания кремниевой кислоты в перегретом паре по сравнению с концентрацией ее в питательной воде. Такое увеличение может явиться следствием:

а) отмывки поверхностей нагрева парогенератора от загрязнений, содержащих кремниевую кислоту;

б) перехода коллоидных соединений кремниевой кислоты (попадающих в питательную воду с присосом охлаждающей воды), не определяемых фотэколориметрическим методом, в истинно-растворимую определяемую форму при движении среды по тракту парогенератора.

На рис. 4-5 приведен график, характеризующий зависимость содержания растворенного в насыщенном паре хлористого натрия от содержания его в котловой воде. До концентраций, во много раз превышающих таковые для типичных котловых вод, эта зависимость имеет прямолинейный характер; следовательно, значе-

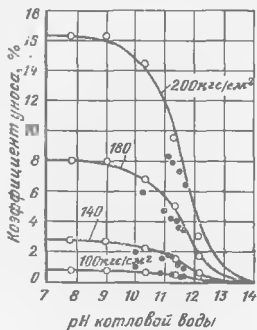


Рис. 4-4. Зависимость коэффициента уноса кремниевой кислоты от pH котловой воды.

иния K_p для NaCl можно считать практически постоянными и изменяющимися только с давлением. Из рис. 4-5 видно, что с ростом давления растворимость хлористого натрия в сухом насыщенном паре заметно возрастает. Вследствие этого на участках з.л.ы доупаривания прямоточных парогенераторов сверхвысокого и околокритического давлений отложение хлоридов практически не-

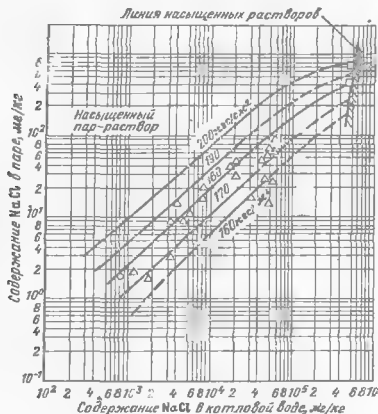


Рис. 4.5. Зависимость содержания растворенного в насыщенном паре хлористого натрия от содержания его в котловой воде при давлениях 160—200 кгс/см².

возможно, так как их концентрация во влаге и на выходных участках этой зоны не может достичь насыщения.

Растворимость сернистого натрия в сухом насыщенном паре (рис. 4-6) значительно меньше, чем хлористого натрия при том же давлении (например, при $p=180 \text{ кгс/см}^2$ в 400 раз). Поэтому даже при сверхвысоком и сверхкритическом давлении в зоне доупаривания будет происходить наращивание концентрации сульфатов во влаге с последующим образованием отложений Na_2SO_4 на стенках парообразующих труб в этой зоне.

Результаты теплотехнических испытаний промышленных прямоточных парогенераторов с к. д. саидетельствуют о том, что кальцевые соединения содержатся в насыщенном паре не только в растворенном состоянии, но и в форме твердых частиц весьма тонкой дисперсности. Это особенно заметно в периоды пуска парогенератора, когда концентрация кальцевых соединений в пи-

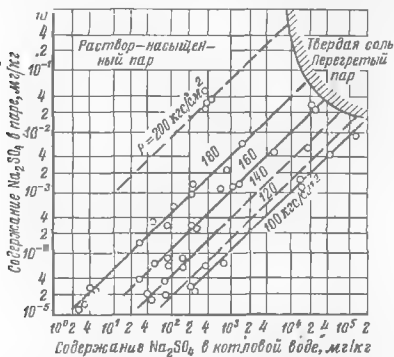


Рис 4-6 Зависимость содержания растворенного в насыщенном паре сернокислого натрия от содержания его в воде при давлениях 100—200 кгс/см².

тательной воде может в несколько раз превышать нормируемые значения.

Магниевые соединения присутствуют в насыщенном паре в виде MgCl_2 , а также продуктов его гидролиза $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и MgO . Установлено, что при концентрациях магний-нона в питательной воде, меньших 1,5 мг/кг, соединения магния проходят парогенератор с к. д. транзитом в турбину. Вынос с насыщенным паром сверхкритического давления соединений железа при концентрации их в питательной воде меньше 100 мг/кг Fe составляет 60—80%. С повышением концентрации железа в питательной воде более 100 мг/кг возрастает образо-

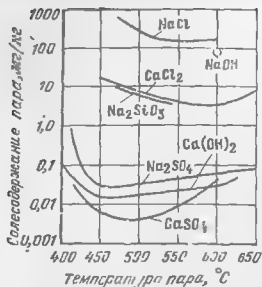


Рис. 47. Растворимость натриевых и кальциевых солей в перегретом паре при давлениях 250–300 кг/см² (по данным ЭИИИ и ВТИ).

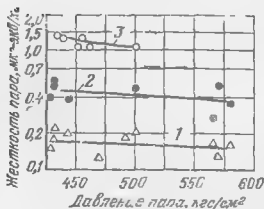


Рис. 48. Зависимость жесткости пара от температуры перегрева и давления (по данным МЭИ).

1 — концентрация магния в паре
($p = 240 \text{ кг/см}^2$),

$$c_{\text{Mg}^{2+}}^{\text{п.в}} = 1 \div 1,5 \text{ мкг-экв/кг};$$

2 — суммарная концентрация магния и кальция в паре ($p = 240 \text{ кг/см}^2$),

$$c_{\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}}^{\text{п.в}} = 1 \div 1,5 \text{ мкг-экв/кг},$$

3 — концентрация магния в паре
($p = 350 \text{ кг/см}^2$),

$$c_{\text{Mg}^{2+}}^{\text{п.в}} = 2 \div 3 \text{ мкг-экв/кг}$$

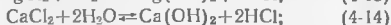
вание отложений окислов железа в парогенераторе и уменьшается вынос их с паром в турбину.

Неорганические соединения растворяются также в перегретом паре. При этом в перегретом паре, находящемся в контакте с твердыми солевыми отложениями, растворяется значительно большее количество веществ, чем в насыщенном, полученном из столь разбавленного раствора, каким является котловая вода. Растворимость твердых веществ в перегретом паре достигает заметных величин уже при средних давлениях, при которых растворимость этих веществ в насыщенном паре ничтожно мала.

Экспериментально установлено, что для одной и той же температуры перегрева увеличение давления и плотности перегретого пара повышает растворимость в нем неорганических соединений. С ростом температуры пара растворимости отдельных примесей изменяются различным образом. Сводный график растворимости натриевых и кальциевых солей в перегретом паре сверхкритического давления в зависимости от температуры показан на рис. 4-7. Перегрев

пара при постоянном давлении сопровождается уменьшением его плотности, вследствие чего растворимость веществ в перегретом паре может достичь при определенных температурах своего минимума, величина которого зависит от природы неорганического соединения. Но для всех веществ, растворенных в паре, закономерно то положение, что чем выше рабочее давление, тем более высокой температуре перегрева пара отвечает этот минимум.

Проведенные исследования поведения ряда солей натрия, кальция и магния, растворенных в перегретом паре, показали, что при температуре, индивидуальной для каждого соединения, начинают протекать процессы их высокотемпературного гидролиза, что приводит к появлению в паре свободной кислоты:



Произведенные замеры показали, что жесткость пара с. к. д. в диапазоне температур 420—580 °С составляет в среднем 0,4 мкг-экв/кг при концентрации солей жесткости в питательной воде, равной или большей 0,6 мкг-экв/кг. На рис. 4-8 приведены кривые, характеризующие зависимость жесткости пара от температуры перегрева и давления.

Растворимость окислов меди в перегретом паре в области докритических давлений незначительна, но она становится ощутимой в перегретом паре сверхкритического давления. Экспериментально установлено, что максимальное равновесное содержание растворенных в паре окислов меди (CuO , Cu_2O) при давлении 250 кгс/см² и температуре 450—530 °С составляет приблизительно 2 мкг/кг, включая сюда коллоидные и тонкодисперсные частицы

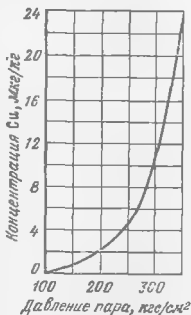


Рис. 4-9. Зависимость предельного содержания меди в перегретом паре от давления при обработке питательной воды аммиаком и гидразином ($t = 565 \div 570$ °С).

диаметром меньше 0,5 мкм. Наблюдаемое на ряде ТЭС значительно более высокое содержание меди в перегретом паре, особенно в пусковые моменты, объясняется уносом с паром взвешенных частиц окислов меди диаметром, превышающим 0,5 мкм. Доля этих частиц в паре зависит от степени дисперсности меди в питательной воде, а также давления, температуры, скорости и pH среды.

Появление в воде хотя бы весьма небольших количеств аммиака или его производных приводит к увеличению растворимости гидратированной окиси меди за счет образования медно-аммиачных комплексов типа $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{OH})_2$; $\text{Cu}(\text{NH}_3)_5$, обладающих повышенной растворимостью в паре.

На рис. 4-9 показано изменение предельного содержания соединений меди в паре прямоточных парогенераторов в зависимости от давления при температуре пара 560—570 °C и обработке питательной воды аммиаком ($C_{\text{NH}_3}^{\text{п.в.}} = 200 \div 400 \text{ мг/кг}$) и гидразин-гидратом ($C_{\text{N}_2\text{H}_4}^{\text{п.в.}} = 20 \div 50 \text{ мг/кг}$).

Исследования на парогенераторах с. к. д. показали, что при гидразин-гидратной обработке питательной воды уменьшается переход соединений меди из питательной воды в пар.

4.3. ОТЛОЖЕНИЯ ПО ПАРОВОМУ ТРАКТУ

а) Поведение примесей пара в пароперегревателе

При движении насыщенного пара через пароперегреватель происходит не только перегрев его, но и прежде всего доупаривание унесенных капелек воды, которое сопровождается повышением концентрации примесей в растворе до состояния насыщения с последующим выделением некоторых из них в виде твердой фазы. В первую очередь будут отлагаться те соединения, которые обладают отрицательным температурным коэффициентом растворимости, например сульфат натрия и окислы железа.

При наличии в капельках в растворенном состоянии неорганических соединений с положительным коэффициентом растворимости выпаривание влаги с ростом концентрации этих соединений будет протекать замед-

ленно, так как с повышением температуры непрерывно увеличивается растворимость этих веществ и необходимая для их выпаривания температура может превысить температуру перегретого пара. В результате этого высококонцентрированные растворы этих веществ будут поступать с паром в проточную часть турбины. Так, например, при доупаривании капелек котловой воды, содержащих едкий натр, образуется вязкая клееобразная взвесь, в которой концентрация NaOH может достигать 80—90%. На рис. 4-10 приведены равновесные концентрации NaOH при различных давлениях и температурах.

Возможность образования отложений в пароперегревателе из веществ, растворенных в паре, т. е. находящихся в состоянии истинного парового раствора, может

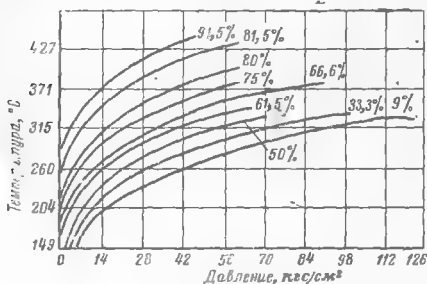


Рис. 4-10. Равновесная концентрация NaOH в зависимости от давления и температуры пара.

быть установлена по разности между концентрацией вещества в перегретом паре a_n и растворимостью его в паре a_p , а именно: $\Delta a = a_n - a_p$. Теоретически можно представить себе два случая: 1) когда концентрация вещества в паре меньше или равна растворимости его в паре, т. е. когда $a_n \leq a_p$; 2) когда концентрация вещества больше растворимости его в паре, т. е. когда $a_n > a_p$. В первом случае вещество полностью проходит транзитом через пароперегреватель, не образуя в нем отложе-

ний. Во втором случае разность Δa равна количеству вещества, отлагающегося в пароперегревателе из 1 кг пара или кристаллизующегося не только на стенке, но и в потоке без последующего осаждения уносимых паром твердых частиц.

Поскольку растворимость в перегретом паре NaCl , NaOH , SiO_2 при сверхвысоком и сверхкритическом давлении в десятки раз превышает допустимое содержание и кремниесодержание перегретого пара, отложение этих веществ в пароперегревателе является маловероятным. Исключением здесь может быть лишь едкий натр, который при наличии значительных скоплений окислов железа может химически взаимодействовать с ними, образуя отложения из феррита натрия по уравнению реакции $2\text{NaOH} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 2\text{NaFeO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, которая начинает протекать при температуре 200°C .

Поток пара, проходя через пароперегреватель, одни вещества проносит транзитом (SiO_2 , NaCl), другие оставляет в пароперегревателе (фосфаты натрия и кальция, сульфаты натрия и кальция и др.), а третьи либо теряет, либо захватывает, перенося их в турбину (окислы железа). Практика эксплуатации мощных парогенераторов показывает, что чем выше параметры перегретого пара, тем меньше неорганических соединений отлагается в пароперегревателе. Исключением являются окислы железа, растворимость которых снижается с ростом температуры.

На ТЭС с к. д. концентрации кальциевых и магниевых соединений в питательной воде настолько малы (благодаря глубокому обессоливанию добавки и конденсата, а также малому проценту добавки), что предел их насыщения в паре практически редко достигается. Поэтому при соблюдении норм качества питательной воды CaSO_4 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ проходят пароперегреватель транзитом, и лишь при значительном ухудшении качества питательной воды сравнительно с нормами может быть превзойден предел насыщения этих соединений.

В промежуточных пароперегревателях энергоблоков мощностью 200—300 Мвт, где давление составляет 15—30 кгс/см², а температура перегретого пара повышается с 300—315 до 560—565 $^\circ\text{C}$, происходит практически полное отложение всех примесей, содержащихся в паре, поступающем из п. в. д. турбины. При резких изменениях режима работы парогенераторов (например, при

падении и сбросе нагрузки и т. д.) приводящих к резкому снижению температуры пара на входе в пароперегреватель и выходе из него, наблюдаются вымывание части отложившихся веществ и перенос их в ц. с. д. и ц. н. д. турбины.

б) Поведение примесей пара в проточной части паровых турбин

В перегретом паре, поступающем в турбину, могут присутствовать в различных количественных соотношениях растворенные в нем неорганические соединения, мельчайшие высококонцентрированные капельки котловой воды, частицы сухих солей и окислов металлов. При расширении пара в ступенях проточной части турбины стремительно снижаются его температура и давление, вследствие чего уменьшается растворяющая способность перегретого пара, а в унесенных капельках котловой воды сдвигается равновесие в растворах неорганических соединений. В результате этих физико-химических процессов из пересыщенных парового и водного растворов выделяется твердая фаза. Выделение избытка вещества из перегретого пара может происходить как непосредственно на поверхности проточной части, так и в самом паровом потоке с отложением выкристаллизовавшихся из него сухих частиц на последующих ступенях турбин. В настоящее время еще нет достаточно надежных данных о доле выпадающей из пара твердой фазы, кристаллизующейся и накапливающейся на поверхности проточной части турбины.

Выделение твердой фазы из парового раствора возможно только в том случае, если содержание веществ в перегретом паре, поступившем в проточную часть турбины, превышает растворяющую способность перегретого пара в какой-либо из ее ступеней.

В условиях сильного пересыщения парорастворов, обусловленного тем, что пар проходит всю проточную часть турбины за десятые доли секунды, выпадение твердой фазы в объеме парового потока и на поверхности лопаток будет иметь место не только по достижении предела растворимости, но и на лопатках последующих ступеней. В процессе кристаллизации веществ из парорастворов происходят частичный захват и отложение в ц. в. д. тех соединений, которые вследствие своей мв-

лой растворимости в паре поступают в проточную часть турбины в виде тонкодисперсных твердых частиц.

В первых ступенях ц. в. д. преимущественно отлагаются соединения CuO , Cu_2O , Na_2SiO_3 , Na_2SO_4 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, очень слабо растворимые в перегретом паре и характеризующиеся сильной зависимостью ветичины их растворимости от плотности парв. Уже при небольшом снижении давления в пределах ц. в. д. растворимость этих веществ падает до десятых долей микрограмма на килограмм пара. Можно полагать, что в этой зоне проточной части турбины отложения образуются в результате непосредственной кристаллизации солей или окислов металлов из пересыщенного парораствора, когда энергия кристаллической решетки достаточно велика, чтобы образовать прочные отложения, способные противостоять эрозийному воздействию потока пара.

Согласно данным некоторых зарубежных литературных источников доля отложившихся на лопатках ц. в. д. турбины окислов меди не превышает 8—10%, остальное уносится потоком пара и может частично отложиться в промежуточном пароперегревателе либо попасть в конденсатор турбины. Тем не менее на энергоблоках с к. д. медистые отложения представляют серьезную опасность, так как они образуются преимущественно на первых ступенях ц. в. д. в зоне наименьших проходных сечений проточной части, именно там, где удельная мощность на 1 м^2 поверхности лопаток (Мвт/м^2) велика. Здесь даже незначительный по ветичине занос может заметно уменьшить мощность турбины и снизить ее экономичность. При давлении перед турбиной 130 кгс/см^2 растворимость меди значительно меньше и медистые отложения в проточной части перестают играть сколько-нибудь серьезную роль.

Отложения окислов железа обнаруживаются на всех ступенях турбины, причем на тех ступенях, где других веществ мало, процентное содержание окислов железа в отложениях резко возрастает. Окислы железа в большинстве отложений присутствуют преимущественно в виде Fe_3O_4 и лишь частично в виде Fe_2O_3 .

Значительно лучше растворимый в паре хлористый натрий при концентрации его в паре, отвечающей нормам, достигает насыщения в ц. с. д. и ц. н. д., где проходные сечения проточной части достаточно велики и занос в меньшей степени отражается на ограничении

мощности и снижении экономичности турбины. Только при значительном ухудшении качества пара ($a_{N/C} = 100 \div 300$ мкг/кг) хлористый натрий отлагается в конце ц. в. д.

Кремниевая кислота, обладающая хорошей растворимостью в паре, выделяется в твердую фазу лишь при значительном снижении давления. Кремнекислые отложения (с содержанием SiO_2 85—95%) в различных кристаллических модификациях или в аморфной форме сосредотачиваются, как правило, в ц. с. д. и ц. п. д. тур-

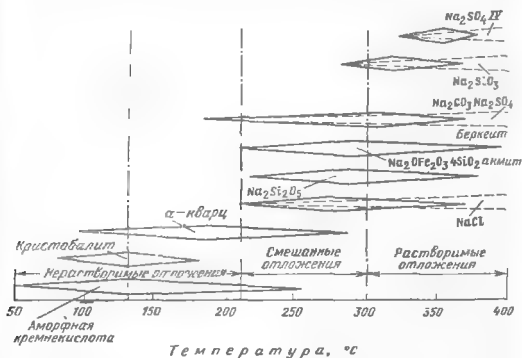


Рис. 4-11. Схематическая диаграмма температурных границ существования разных отложений, образующихся в проточной части турбины (по данным фазового анализа).

бины (см. рис. 4-11), так как растворимость SiO_2 слабо зависит от плотности пара.

Соединения SiO_3^{2-} и Na^+ практически при любом их содержании в поступающем паре частично выпадают на лопатки ц. в. д., причем процессу отложения SiO_3^{2-} соответствует отложение Na^+ . Происходит оседание Na_2SiO_3 , растворимость которого в паре значительно ниже, чем H_2SiO_4 . При этом интенсивность заноса ц. в. д. турбины находится в полном соответствии с качеством питатель-

ной воды и перегретого пара. Следствием заноса п. в д. является снижение мощности турбины при отсутствии повреждений поверхности нагрева парогенератора.

Основными причинами нарушений норм качества питательной воды (табл. 5-4) и пара, поступающего в турбину (табл. 4-1), по кремниесодержанию являются: 1) наличие в исходной воде значительного количества тонкодисперсных соединений кремниевой кислоты, которые не поглощаются анионитными фильтрами, проходят через все фильтры сбескотивающей установки и обнаруживаются в обессоленной добавочной воде в системе питания блока; 2) увеличение присоса охлаждающей воды при содержании в ней тонкодисперсных соединений кремниевой кислоты; 3) высокое кремниесодержание пара в первый период после включения в работу турбины из-за недостаточной эффективности режима промывок питательного тракта и внутренних поверхностей парогенератора; 4) нарушение нормальной работы установок обессоливания конденсата — несвоевременный вывод анионитных фильтров на регенерацию, неудовлетворительная отмывка фильтров, использование растворов иррациональной концентрации для регенерации катионитных и анионитных фильтров.

Большое влияние на характер кремниеских отложений в турбине оказывает соотношение в паре щелочи (NaOH) и кремниевой кислоты. В тех случаях, когда содержание натрия достаточно для связывания всей кремниевой кислоты, образуются отложения только водорастворимых силикатов натрия. В противном случае лишь часть кремния выпадает в виде силикатов натрия в головной части турбины, остальная же часть кремниевой кислоты транспортируется паром и образует водонерастворимые отложения в ступенях низкого давления. При снижении параметров пара в ступенях турбины едкий натр переходит из парового раствора, минуя твердую фазу, в жидкое состояние и может, взаимодействуя с окислами железа и кремниевой кислотой, образовывать ферриты и ферросиликаты натрия.

Сопоставление величины жесткости конденсата проб пара с пределом растворимости в перегретом паре соединений кальция, а также непосредственный микроскопический анализ показывает, что соединения кальция проходят через проточную часть турбины главным образом в виде сухой пыли.

В ступенях низких давлений, где начинается увлажнение пара, примеси, выделяющиеся из парового раствора вследствие снижения его растворяющей способности, полностью переходят во влагу и не образуют отложений в проточной части. При нестабильной работе турбины (резкое изменение или сброс нагрузки), а также при колебаниях температуры пара происходят частичное отслаивание и вынос отложений из ц. в. д. в промежуточный пароперегреватель либо в ц. с. д. и ц. н. д. При остановках и последующих пусках из турбины частично вымываются влажным паром не только водорастворимые натриевые соединения, но и отложения, обладающие малой растворимостью в горячей воде. Отсюда следует, что *с увеличением продолжительности рабочей кампании турбоагрегата опасность заноса проточной части окислами меди, железа и кремния возрастает, ибо перестает скрываться положительное влияние самопромывки, уменьшающей темп снижения мощности и к. п. д турбины.*

Для выявления роли основных факторов, влияющих на интенсивность образования солевых отложений в проточной части турбины, используются индикаторы, имитирующие процессы, протекающие в отдельных ступенях турбины. Эти индикаторы могут служить лишь для качественной оценки условий образования отложений в турбине, так как они не дают надежных результатов для выявления количественных величин отложений.

4.4. ПРОМЫВКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ И ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Растворимые в воде солевые отложения удаляются из загрязненных внутренних поверхностей пароперегревателей путем промывки их конденсатом или питательной водой при температуре 75–80 °С. Отложения, нерастворимые в воде, удаляются с помощью кислотных промывок (см. гл. 3).

На электростанциях получили применение два вида водных промывок пароперегревателей:

а) *общая промывка*, при которой используемая для промывки вода поступает в коллектор перегревателя и, следовательно, количество протекающей через от-

дельные змеевики воды устанавливается самопроизвольно;

б) индивидуальная промывка, при которой через каждый из змеевиков, присоединенных к коллектору, пропускается необходимое для удаления солей количество промывочной воды с помощью специального приспособления, которое заводится в коллектор через специальные лючки в боковой стенке или торце.

При общей промывке вода (обычно питательная или конденсат) подается в коллектор перегретого пара, из которого она поступает в барабан парогенератора. Если коллектор насыщенного пара имеет дренажную линию, то промывочная вода сбрасывается в дренаж. Перед промывкой перегреватель заполняется водой и оставляется в таком состоянии на 1—2 ч, а затем пропускается вода через перегреватель в течение 15—20 мин. Эти операции повторяются до тех пор, пока содержание выходящей из перегревателя воды не станет равным содержанию поступающей в перегреватель воды.

Общая промывка не обеспечивает полной очистки всей поверхности змеевика, так как скорость промывочной воды при ней вообще невелика и различна в отдельных змеевиках. Индивидуальная промывка требует вскрытия лючков на коллекторах для доступа к каждому змеевику пароперегревателя и является трудоемкой операцией, но она дает возможность очистить все змеевики от отложений, а также позволяет установить распределение отложений по отдельным змеевикам пароперегревателя. Для достижения интенсивной промывки змеевиков пароперегревателя и обеспечения поступления воды во все змеевики скорость промывочной воды в трубах змеевиков должна быть не меньше 1—1,5 м/сек. По окончании промывки оставшаяся в змеевиках вода удаляется с помощью сжатого воздуха.

Для удаления водорастворимых отложений из проточной части паровой турбины применяется периодическая промывка ее увлажненным паром на холостом ходу, под нагрузкой и при стоянке. При промывке паром с влажностью его на входе 2—3% из проточной части удаляются практически все водорастворимые отложения и некоторая часть водонерастворимых. Отложения на лопаточном аппарате турбины окислов железа и меди, а также кремнезема в кристаллической либо аморфной

форме не поддаются удалению влажным паром. Они требуют значительно более сложной промывки с применением реагентов-растворителей.

Промывка на холостом ходу производится при скорости вращения ротора от 800 до 1000 об/мин. В случае невозможности получения насыщенного пара низкого давления перегретый пар дросселируется, а температура его снижается до температуры насыщения путем впрыска конденсата в перегретый пар. В целях предупреждения неравномерного охлаждения ротора турбины и воз-

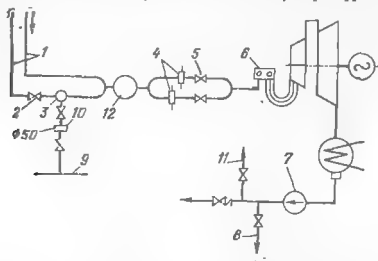


Рис. 4-12 Принципиальная схема промывки конденсационной турбины под нагрузкой.

1 — паропровод от парогенераторов, 2 — регулировочная задвижка, 3 — увлажнитель пара, 4 — измерительная шайба, 5 — главная пусковая задвижка, 6 — паровая корробка; 7 — конденсатный насос, 8 — отбор пробы конденсата для определения щелочи, 9 — напорный коллектор питательных насосов; 10 — измерительная шайба, 11 — поток конденсата к парогенераторам; 12 — водоотделитель.

никновения больших температурных напряжений в деталях проточной части следует тщательно наблюдать за впрыском конденсата, не допуская понижения температуры смеси рабочего пара с конденсатом более чем на $1-1,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Солеотложения растворяются, как правило, через несколько минут после достижения температуры насыщения, а в последующие 10—15 мин водорастворимые отложения вымываются полностью. После промывки температуру пара медленно повышают путем уменьшения подачи увлажняющего конденсата в пар. Скорость восстановления нормальной температуры пара не должна превосходить $2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Промывка продолжается до тех пор, пока содержание конденсата промывочного пара достигнет содержания конденсата исходного пара. Общая продолжительность промывки с учетом времени из-за охлаждения пара и повторное поднятие его температуры колеблется в пределах 4—10 ч для турбин среднего давления и 10—15 ч для турбин высокого давления.

Следует иметь в виду, что промывки турбины влажным паром, производимые по несколько раз в течение года, крайне нежелательны так как они вызывают снижение выработки электроэнергии (во время промывки), а также являются иногда причиной коррозии корпуса турбины.

Соли, вымытые из ц. с. и ц. и д., почти полностью отлагаются в промежуточном перегревателе, поэтому после промывки турбины необходима остановка парогенератора для осуществления его промывки. Соли, вымытые из ц. с. и ц. и д., сбрасываются за пределы пароводяного тракта энергоблока.

Промывка под нагрузкой (рис 4-12) является наиболее совершенной и эффективной. Расход свежего пара при промывке для активных турбин принимается в пределах 30—35% номинального, а для реактивных и аксиальных — в пределах 50—55%. Скорость снижения температуры пара принимается равной $1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, а повышения температуры $1,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

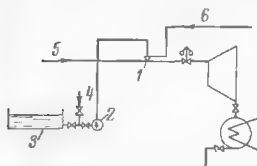


Рис 4-13. Схема промывки турбины щелочью.

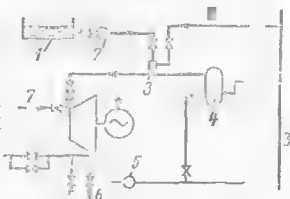
1 — сопло, 2 — дозирующий насос
3 — бак со щелочным раствором,
4 — дозирующее устройство, 5 — пар 3 кгс/см²,
6 — пар 16 кгс/см².

Промывка щелочным раствором (рис. 4-13 и 4-14) применяется, если отложения в основном состоят из водонерастворимых кремнекислых соединений. Промывка может производиться под нагрузкой или на холостом ходу со сниженным числом оборотов. При про-

мывке на холостом ходу в турбину подается насыщенный пар, в который впрыскивается 7—10%-ный раствор NaOH . Загрязненный щелочью пар отводится в конден-

Рис. 4-14. Схема промывки турбины щелочью при высокой температуре пара.

1 — бак со щелочным раствором, 2 — дозирующий насос, 3 — впрыскивающее устройство, 4 — охлаждающее устройство, 5 — насос конденсата, 6 — датчик солемера, 7 — пар 75 кгс/см², 8 — пар 13 кгс/см².



мывке на холостом ходу в турбину подается насыщенный пар, в который впрыскивается 7—10%-ный раствор NaOH . Загрязненный щелочью пар отводится в конден-

сатор или в продувку. После окончания щелочной промывки производится последующая промывка турбины увлажненным паром или конденсатом. Для удаления окислов железа и меди с поверхности турбинных лопаток может быть успешно применена промывка проточной части смесью растворов карбоната аммония, гидразина, серной и лимонной кислот, а также раствором комплексонов. В тех случаях, когда водные и химические промывки турбин не дают должного эффекта, приходится прибегать к механическим способам очистки роторов, диафрагм и лопаток путем скабливания прочных отложений либо обдувки их песком и летучей золой.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ВОДНОХИМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

5-1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основными задачами рациональной организации воднохимических режимов ТЭС и АЭС являются а) предотвращение коррозии поверхностей паросилового оборудования, омываемых водой и паром; б) предотвращение отложений на поверхностях нагрева и опасных скоплений шлама в парогенераторах и во всем тракте питательной воды; в) предотвращение отложений на поверхностях конденсаторных труб и в проточной части турбин.

Способы организации водного режима подразделяются на физико-химические и физико-механические. К первым относится коррекционная обработка питательной и котловой воды реагентами, а ко вторым — ступенчатое испарение, промывка пара или их совместное использование. Сочетая физические методы удаления растворенного в воде кислорода и свободной углекислоты (деаэрация, отсос газов из парового пространства подогревателей) с коррекционной обработкой питательной воды аммиаком, нейтрализующими аминами и гидразином, можно полностью устранить или заметно ослабить кислородную и углекислотную коррозию пароводяного тракта ТЭС. Дозируя пленочные амины в греющий технологический пар, можно надолго защищать от корро-

зии обратные конденсаторопроводы от промышленных потребителей пара на ТЭЦ.

С помощью коррекционной обработки фосфатами котловой воды парогенераторов с многократной циркуляцией создаются условия, при которых твердая фаза образуется не на поверхности нагрева в виде накипи, удаляемой механической или химической очисткой при остановках, а в толще воды в виде шлама, который может быть выведен из парогенератора вместе с продувочной водой.

На зарубежных ТЭС за последние годы получили широкое применение комплексообразующие реагенты (этилендиаминотетрауксусная кислота — ЭДТА и ее натриевая соль — трилон Б), которые используются для непрерывной обработки котловой воды с целью предотвращения накипеобразования. Указанные комплексообразующие реагенты обеспечивают не только безнакипный, но и безшламовый режим благодаря тому, что образующиеся комплексоны кальция и магния обладают практически неограниченной растворимостью. Велика также растворимость и стойкость комплексонов железа и меди при высоких температурах.

Так как в парогенераторах с многократной циркуляцией создается наибольшая концентрация примесей, растворимых в воде, то выведение их с продувочной водой именно из парогенераторов является наиболее рациональным.

Одним из основных показателей надежности водного режима энергоблока с прямоточными парогенераторами является длительность межпромывочного периода работы парогенератора и турбины, который определяется величиной допустимого повышения температуры металла при заданных толщине и теплопроводности отложений в парообразующих трубах, а также допустимыми ограничениями предельной мощности и экономичности турбины. Как известно, проточная часть турбины значительно более чувствительна к отложениям, чем прямоточный парогенератор, поэтому чем больше примесей, вносимых с питательной водой, будет задержано в самом парогенераторе, тем меньше их будет вынесено паром в турбину и тем совершеннее водный режим данного энергоблока. Чтобы обеспечить длительное поддержание оптимального водного режима ТЭС, следует строго соблюдать эксплуатационные нормы качества

пара, питательной и котловой воды, которые должны устанавливаться на основе результатов теплехимических испытаний данного или аналогичного парогенератора.

Для обеспечения нормального водного режима современные ТЭС оснащаются комплектом автоматических контрольно-измерительных приборов непрерывного действия (солемерами, кремнемерами, кислородомерами, рН-мерами и др.), позволяющих эксплуатационному персоналу своевременно обнаруживать отклонения от заданных эксплуатационных норм качества воды и пара и достаточно быстро реагировать на нарушения водного режима.

5-2. ВОДНОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТРАКТА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ И ОБРАТНЫХ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ

Наиболее эффективным методом борьбы с коррозией элементов пароводяного тракта ТЭС, вызываемой повышенной концентрацией свободной угольной кислоты, является связывание щелочью остаточного содержания CO_2 в дегазированной питательной воде, а также угольной кислоты, образующейся при подогреве питательной воды (в регенеративных подогревателях и экономайзерах) в результате распада бикарбоната натрия.

Для поддержания оптимального значения рН питательной воды, зависящего главным образом от конструктивных материалов оборудования тракта питательной воды и параметров среды, обычно в питательную воду дозируется водный раствор аммиака (NH_4OH). Аммиак вступает во взаимодействие со свободной углекислотой по следующим реакциям:



Дозирование аммиака производится из расчета 0,4 мг NH_3 на 1 мг CO_2 , если CO_2 нейтрализуются до бикарбоната аммония, и 0,8 мг NH_3 на 1 мг CO_2 , если последняя нейтрализуется до карбоната аммония.

Установка для аммиачной обработки воды состоит из дозирующих бачков для раствора аммиака и плунжерного насоса-дозатора. Ввод аммиака целесообразно производить в химически очищенную и обессоленную воду непосредственно на водоподготовительных установ-

ках, так как это позволяет одновременно защищать от углекислотной коррозии и тракт очищенной или обессоленной воды. Вследствие летучих свойств аммиака независимо от места ввода его в систему сравнительно быстро наступает распределение его по всему пароводяному тракту.

Из конденсата турбин вместе с отсасываемой воздушной смесью эжекторы частично удаляют углекислый газ и аммиак; при этом отсасывание углекислого газа происходит более полно, чем отсасывание аммиака, в результате в конденсате создается избыток аммиака, обесщелачивающий щелочную реакцию среды.

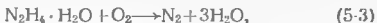
Присутствие аммиака в конденсате и в питательной воде по-разному отражается на их коррозионной агрессивности по отношению к углеродистым сталям и медным сплавам. Аммиак, повышая рН воды, парализует отрицательное действие свободной углекислоты на углеродистую сталь, подавляет коррозионные процессы с водородной деполяризацией и предотвращает обогащение питательной воды продуктами коррозии стали. Агрессивность коррозионного воздействия аммиака на медные сплавы зависит от содержания кислорода в питательной воде и в конденсирующемся паре. При обеспечении достаточного содержания кислорода по водо-конденсатному тракту можно, дозируя аммиак, поддерживать рН питательной воды на уровне $9,0 \pm 2,0$, чтобы уменьшить обогащение ее окислами железа. При содержании кислорода в конденсате по тракту ТЭС более 20 мкг/кг O_2 поддержание постоянного режима амминирования питательной воды следует проводить из расчета отсутствия свободного аммиака по водо-конденсатному тракту, что достижимо при дозировке аммиака в питательную воду не выше 500 мкг/кг NH_3 ($\text{pH} = 8,8 - 9,0$).

Для нейтрализации свободной угольной кислоты и повышения рН питательной воды в пароводяной тракт электростанции нередко вводятся органические амины, в том числе циклогексилламин $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NH}_2$, морфолин $\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}$ и пиперидин $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{N}$. Обладая щелочными свойствами и летучестью, эти высокотемпературные ингибиторы коррозии создают защитные окисные пленки на поверхности оборудования и трубопроводов тракта питательной воды, изготовленных из углеродистой стали и медных сплавов. При дозе $2-3 \text{ мг/кг}$ нейтрализующие амины способствуют повышению рН питательной

воды до 8,5—9,0. Так как эти амины менее летучи, чем аммиак, потери их в пароводяном цикле ТЭС значительно меньше, чем аммиака. В отличие от аммиака они при каких условиях не могут вызвать коррозию медных и латунных труб подогревателей и конденсаторов. Однако амины дороги и поэтому получили на отечественных ТЭС ограниченное применение.

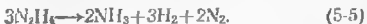
Аммиак и амины не повышают содержания питательной воды, что особенно важно для энергоблоков с прямоточными парогенераторами, где предъявляются особо строгие требования к качеству питательной воды.

Для предотвращения кислородной коррозии элементов пароводяного тракта ТЭС, а также уменьшения переноса медных отложений с внутренней поверхности паробразующих труб в турбину целесообразно непрерывно дозировать в питательную воду гидразин-гидрат, обладающий резко выраженными восстановительными свойствами. Реакция между гидразин-гидратом и кислородом протекает по уравнению



причем конечными ее продуктами являются вода и азот. По этой причине гидразин-гидрат является в настоящее время единственным реагентом, пригодным для удаления остаточного кислорода из термически деаэрированной питательной воды прямоточных парогенераторов.

Основными факторами, определяющими скорость этой реакции, являются избыток гидразина, начальная концентрация растворенного кислорода, температура и значение pH среды. Избыток гидразина в питательной воде целесообразно поддерживать на уровне 20—30 мг/кг (но не больше 100 мг/кг N_2H_4). При этом создаются более благоприятные условия для отложения меди в парогенераторе, откуда ее проще удалить, чем из проточной части турбины. В парогенераторе избыток гидразина разлагается (при температуре 250—300 °C) с образованием аммиака, уходящего с паром и повышающего pH конденсата, а также водорода:



Термическое разложение N_2H_4 катализируется окислами железа и соединениями меди. Гидразин в пароводяном тракте ТЭС способен вступать во взаимодействие также с окислами железа и меди



Поддержание заданной величины pH и концентрации гидразина и аммиака осуществляется путем автоматизации коррекционной обработки питательной воды. Непрерывное дозирование раствора аммиака с помощью насосов-дозаторов производится по импульсу электропроводности воды, а при одновременном дозировании смеси растворов аммиака с гидразином гидратом заданная доза гидразина может быть поддержана путем подбора такого соотношения гидразина и аммиака в рабочем растворе, чтобы при оптимальном значении pH концентрация гидразина в питательной воде была в пределах эксплуатационной нормы.

Обычно практикуется ввод растворов аммиака, аминов и гидразина в напорный коллектор конденсатных насосов с целью защиты всего тракта питательной воды от коррозии. В целях предотвращения аммиачно-кислородной коррозии латунных труб регенеративных подогревателей гидразин гидрат дополнительно вводится в перепускной паропровод между цилиндрами турбины (в области температур 150—300 °C). При таком способе подачи в цикл гидразина последний попадает не только в конденсат, образующийся в конденсаторе, но и в конденсат греющего пара п. н. д.

Для предотвращения коррозии обратных конденсаторов в пароводяные подводящие греющий пар потребителям, вводятся с помощью насосов-дозаторов пленкообразующие амины, к которым может быть отнесен октадециламин $C_{18}H_{37}NH_2$. Это практически нерастворимое в воде соединение может употребляться лишь в виде эмульсий или суспензий. Высокие ингибиторные свойства пленкообразующих аминов основаны на адсорбции их молекул поверхностью корродируемого металла, в результате чего создается не смываемая водой и мономолекулярный гидрофобный слой этих веществ, который экранирует металл от действия на него не только угольной кислоты, но и кислорода.

Пленкообразующие амины эффективны при pH конденсата 4,0—8,6, если pH > 8,6, то аминная пленка начинает разрушаться. При дозе пленочных аминов 1—3 г на тонну пара скорость коррозии в конденсатных системах снижается на 92—98%.

Дозирование пленкообразующих аминов должно быть непрерывным и пропорциональным расходу обрабатываемого пара, оно осуществляется с помощью плунжерных насосов-дозаторов. Ввиду независимости дозы указанных аминов от содержания свободной углекислоты в конденсате затраты на обработку в данном случае составляют 40% стоимости обработки конденсата аминами, нейтрализующими углекислоту.

В эксплуатационных условиях при температуре пара 370—400 °C разложение пленкообразующего амина не наблюдается.

5.3. ВОДНОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ С МНОГОКРАТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

а) Предотвращение коррозии

Если источник питания парогенераторов загрязнен нитритами, то можно ослабить нитритную коррозию дозированием в парогенераторы среднего давления сульфита натрия, а в парогенераторы высокого давления — гидразина. Эти реагенты обладают способностью замедлять протекание нитритной коррозии благодаря их способности взаимодействовать с нитритами с уменьшением концентрации последних в котловой воде. Эффективной мерой предупреждения «нитритной» коррозии является химическое обессоливание добавочной питательной воды, позволяющее полностью освободиться от солей, в том числе от нитритов, а исходной воде.

Для успешного предотвращения межкристаллитной коррозии котельного металла необходимо стремиться к устранению влияния на металл всех факторов, вызывающих межкристаллитные трещины, в том числе: агрессивности котловой воды, дополнительных механических и термических напряжений, неплотностей в заклепочных швах и вальцовочных соединениях элементов котла.

Установлено, что при соотношении $C_{Na_2SO_3}/C_{NaOH} > 5$ сульфат натрия обладает способностью замедлять межкристаллитную коррозию котельного металла.

При повышенном содержании в котловой воде щелочи пассивирующее действие на котельный металл оказывают ингибиторы селитра $NaNO_3$ и сульфит-целлюлозные щелока. Защитное действие селитры в парогенераторах низкого и среднего давлений обнаруживается лишь при соотношении $C_{NaNO_3}/C_{NaOH} \geq 0,4$ (нитратное число).

На стойкость котельной стали благоприятно действует добавление в котловую воду не только селитры, но и смеси ее с тринатрийфосфатом. Применение селитры для предотвращения межкристаллитной коррозии парогенераторов при давлениях выше 70 кгс/см^2 не может быть рекомендовано, так как она частично разлагается с появлением нитратной коррозии.

6) Предотвращение кальциевого и магниевого накипеобразования

Высокая кратность испарения в современных парогенераторах барабаниого типа со сравнительно небольшим водяным объемом настолько ускоряет рост концентраций солей в котловой воде, что даже при незначительном содержании кальциевых и магниевых соединений в питательной воде возникает опасность отложения накипи на поверхностях нагрева.

В целях предотвращения кальциевого накипобразования наряду с глубоким умягчением добавочной питательной воды и уплотнением конденсаторов паровых турбин на тепловых электростанциях получил повсеместное применение так называемый коррекционный фосфатный режим котловой воды. С его помощью представляется возможным предотвращать образование кальциевой накипи на поверхности нагрева даже в тех случаях, когда ионы Ca^{2+} , SO_4^{2-} и SiO_3^{2-} содержатся в котловой воде в соотношениях, благоприятствующих ее возникновению. Это достигается благодаря тому, что при дозировании раствора фосфорнокислых солей натрия в питательную или котловую воду создаются условия, при которых твердая фаза образуется не на поверхности нагрева, а в толще котловой воды в форме кальциевого шлама, удаляемого из парогенератора с продувкой. Этот рыхлый подвижный шлам, возникающий в результате взаимодействия фосфатов с кальциевыми соединениями, представляет собой труднорастворимую комплексную соль кальция — гидроксилapatит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, который образуется при избытке ионов PO_4^{3-} в котловой воде. В этом случае концентрация ионов кальция снижается столь глубоко, что такие накипеобразователи, как CaSiO_3 и CaSO_4 , не достигают насыщения в котловой воде. В ре-

зультате весь кальций, поступающий с пигментной водой в парогенератор, осаждается в виде гидроксилпатита.

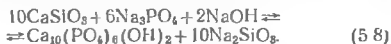
Коррекционный фосфатный режим котловой воды базируется на законе произведения растворимостей, управляющем концентрациями ионов в насыщенных растворах малорастворимых электролитов. В настоящее время нельзя расчетным путем определить минимальную защитную концентрацию ионов PO_4^{3-} для предотвращения накипеобразования, так как отсутствуют экспериментальные данные о растворимости при высоких температурах кальциевых соединений в присутствии анионов, не входящих в состав этих соединений. Кроме того, явление осаждения таких сложных веществ, как гидроксилпатит, управляется не только правилом постоянства величины произведения растворимостей при данной температуре, но и процессами комплексообразования и гидролиза. *В практических условиях необходимый минимальный избыток PO_4^{3-} в котловой воде обычно устанавливается эмпирически, путем непрерывного контроля за качеством котловой воды и состоянием поверхности нагрева.*

Так как наиболее важными анионами накипеобразователей для кальция являются ионы SiO_3^{2-} и SO_4^{2-} , то следует устанавливать величину необходимого избытка фосфатов, ориентируясь на концентрацию этих ионов в котловой воде. Экспериментально установлено и теоретически обосновано, что чем выше концентрация таких анионов накипеобразователей, как SiO_3^{2-} и SO_4^{2-} в котловой воде, тем больше требуется концентрация ионов PO_4^{3-} для предотвращения кальциевого накипеобразования. С другой стороны, при повышении величины рН котловой воды уменьшается потребное количество фосфатов, обеспечивающее безнакипный водный режим парогенератора.

Если для устранения возможности кальциевого накипеобразования желательна наибольшая концентрация фосфатных ионов в котловой воде и наименьшая для силикатных, то для устранения образования магниевой накипи желательно как раз обратное. Отсюда следует, что весьма важно эмпирическим путем найти область концентрации ионов PO_4^{3-} и SiO_3^{2-} , в которой обеспечивается выпадение и кальциевого и магниевого шлама (гидроксилпатита и сложного силиката магния).

Решающим фактором для оценки правильности проводимого режима фосфатирования котловой воды является отсутствие накипи и прикипевшего шлама на поверхностях нагрева парогенераторов.

С ростом температуры резко уменьшается растворимость тринатрийфосфата, поэтому в парогенераторах высокого давления концентрацию фосфатов в котловой воде можно допускать не больше 100 мг/кг PO_4^{3-} . Превышение указанной концентрации может в случае каких-либо нарушений нормального режима парогенератора привести к временному отложению Na_3PO_4 на стенках парообразующих труб. Состав и форма твердой фазы при обработке воды фосфатами зависят от pH среды. При достаточном количестве гидроксидных ионов ($\text{pH} > 10$) благодаря взаимодействию ионов PO_4^{3-} , OH^- и Ca^{2+} , поступающих в парогенератор с питательной водой, образуется гидроксилапатит:



При $\text{pH} > 10$ произведение растворимости для гидроксилапатита достигается раньше, чем для фосфорита, и поэтому устойчивой формой выпадения кальция в этих условиях является именно гидроксилапатит. В условиях слабощелочной среды ($\text{pH} = 7,5 \div 8$), характерной для тракта питательной воды, образуется фосфорит $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, который откладывается в форме плотной кристаллической накипи в трубах кипящих экономайзеров, регенеративных подогревателей, а иногда в питательных трубопроводах. Значительная разница в растворимости гидроксилапатита в нейтральной и щелочной средах обусловлена существенным изменением степени гидролиза фосфатов при разных pH среды, а также величиной растворимости образующихся продуктов.

При значительном избытке ионов PO_4^{3-} в котловой воде может образоваться фосфат магния $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, который обладает способностью прикипать к поверхности нагрева, образуя малотеплопроводную вторичную накипь, трудно удаляемую механическими способами.

При питании парогенераторов смесью конденсата и химически обессоленной воды либо дистиллята в качестве реагентов для коррекционной фосфатной обработ-

ки воды обычно применяется тринатрийфосфат Na_3PO_4 . Если же питательная вода обладает повышенной щелочностью, например, при значительной добавке химически очищенной воды, то в целях иейтрализации избыточной щелочности применяется кислый динатрийфосфат Na_2HPO_4 и монофосфат натрия NaH_2PO_4 , а также «потенциально» кислые полиметафосфаты натрия, в частности гексаметафосфат $(\text{NaPO}_3)_6$, пирофосфат $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ и триполифосфат $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, которые в парогенераторах высокого давления гидролизуются с образованием кислых фосфатов:



Выбор того или иного реагента производится с учетом щелочности и жесткости питательной и котловой воды. Кислые фосфаты связывают едкий натр и тем самым предотвращают возможность концентрирования его в неплотностях или сквозных трещинах, имеющихся в барабане парогенератора.

Растворы фосфатов натрия дозируются в таких количествах, чтобы после взаимодействия их с накипеобразователями, поступающими в парогенератор с питательной водой, в котловой воде постоянно поддерживалась заданная концентрация ионов PO_4^{3-} . Количество фосфатов, необходимое для поддержания в работающем парогенераторе заданного их избытка, в пересчете на PO_4^{3-} может быть определено по формуле

$$G = [Q(1 + \varphi) \cdot 31,7 + Q\varphi i] \frac{100}{C - 1000} = \frac{Q}{C - 10} (31,7 \cdot \mathcal{K} + 31,7\varphi \cdot \mathcal{K} + \varphi i), \quad (5-11)$$

где G — необходимый часовой расход технического фосфата, кг/ч; Q — паропроизводительность парогенератора, т/ч; $\mathcal{K}$ — жесткость питательной воды, г-экв/т; φ — относительная продувка котла в долях от паропроизводительности, принятой за единицу; i — избыток фосфатов в котловой воде в пересчете на PO_4^{3-} , г/т; C — содержание PO_4^{3-} в техническом фосфате, %, 31,7 — эквивалентный вес PO_4^{3-} .

Раствор фосфата определенной концентрации может подаваться в парогенераторы по двум схемам: *индивидуальной и центральной*. Индивидуальное фосфатирование предусматривает равномерный и непрерывный ввод раствора фосфатов непосредственно в барабаны паро-

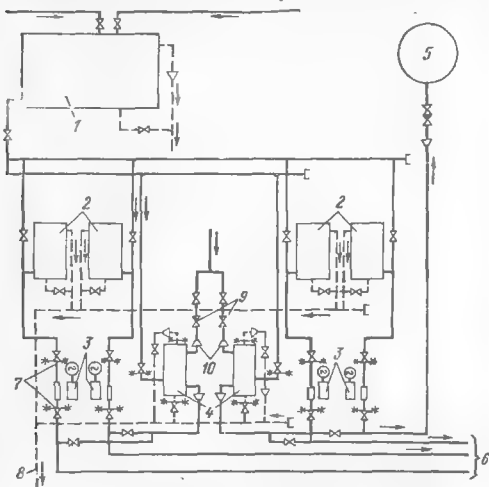


Рис. 6-1. Схема установки для индивидуального фосфатирования парогенераторов.

1 — запасной бак раствора фосфата 2 — индивидуальный расходный бак; 3 — плунжерный насос-дозатор 4 — дозатор для бойлера 5 — барабан парогенератора № 1, чистый отсек 6 — в барабаны остальных парогенераторов 7 — границы поставок завода; 8 — дренаж, 9 — вентиль дроссельный проходной, 10 — переход.

генераторов с помощью насосов-дозаторов плунжерного типа. Схема установки для приготовления фосфатного раствора, раздачи его и дозирования в каждый парогенератор изображена на рис. 5-1. При центральной схеме фосфатирования (рис. 5-2) раствор фосфатов в количестве, отвечающем потребности всех работаю-

щих парогенераторов, вводится в каком-либо месте тракта питательной воды (на КЭС — обычно во всас питательных насосов, а на ТЭЦ — в добавочную химически обрабатываемую воду).

Централизованное фосфатирование проще и удобнее в обслуживании по сравнению с индивидуальным вводом фосфатов. К тому же присадка фосфатов в питательную воду повышает значение рН и тем самым ослабляет коррозию тракта питательной воды.

При централизованном дозировании фосфатов жесткость питательной воды не должна длительно превышать 5 мкг-экв/кг во избежание образования плотной фосфоритной накипи и шлама на стенках груб водяных экономайзеров, подогревателей высокого давления и в питательных магистралях.

В целях предотвращения общей коррозии котельного металла, обусловленной низкой величиной рН, необходимо обеспечить минимальную щелочность котловой воды в пределах 0,1—0,3 мкг-экв/кг. В парогенераторах с многократной циркуляцией при отсутствии трещин в металле барабанов либо интенсивного развития подшламовой коррозии обычно поддерживается щелочно-фосфатный режим котловой воды, который осуществим при любых способах приготовления добавочной питательной воды как на конденсационных электростанциях, так и на ТЭЦ.

В случае появления трещин в барабанах или развития подшламовой коррозии необходимо поддерживать режим чисто фосфатной щелочности котловой воды, предусматривающий полное отсутствие в котловой воде свободного едкого натра, щелочность котловой воды при этом режиме может быть обусловлена только фосфатами натрия. Этот режим применим в условиях питания парогенераторов конденсатом с добавкой дистиллята испарителей или химически обессоленной воды. Щелочность котловой воды в этом случае создается лишь

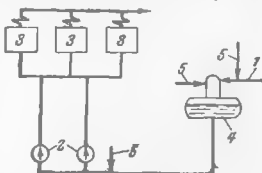
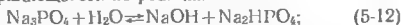


Рис. 52 Схема централизованного ввода фосфата в парогенераторы

1 — линия химически обработанной воды 2 — питательные насосы 3 — парогенераторы 4 — водяной насос 5 — возможные места ввода фосфата

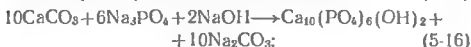
вследствие гидролиза натриевых солей фосфорной кислоты, совершающегося по реакциям:



Получающийся в результате гидролиза едкий натр не может достичь опасной концентрации (5% и выше), так как степень гидролиза Na_3PO_4 уменьшается по мере роста концентрации раствора. При полном выпаривании котловой воды в щелях неплотных котельных соединений происходит устранение NaOH , образовавшегося при гидролизе тринатрийфосфата:



В результате этого процесса образуется раствор Na_3PO_4 и Na_2HPO_4 , безопасный для котельного металла. При осуществлении режима чисто фосфатной щелочности в результате реакции Na_3PO_4 с солями карбонатной жесткости, попадающими в турбинный конденсат из-за присосов охлаждающей воды, в котловой воде может образоваться свободный едкий натр:



Образующийся в результате приведенных реакций едкий натр может быть нейтрализован путем присадки в котловую воду мононатрийфосфата NaH_2PO_4 , динатрийфосфата Na_2HPO_4 и других фосфорнокислых солей. Выбор той или иной фосфорнокислой соли или их соотношений производится с учетом качества питательной воды, ее жесткости и щелочности.

При осуществлении режима чисто фосфатной щелочности могут быть следующие соотношения между щелочным¹ и фосфатным² числами котловой воды:

1) $\text{ЩЧ} = 0,42 \text{ ФЧ}$; при этом в котловой воде содержится лишь Na_3PO_4 , этот чисто фосфатный режим и, следовательно, имеет межкристал-

¹ Щелочное число (ЩЧ) характеризует концентрацию в котловой воде NaOH (мг/кг), образующегося при гидролизе Na_3PO_4 ; оно определяется путем умножения на 40 (молекулярный вес NaOH) количества миллилитров израсходованной дециormalьной кислоты при титровании с фенолфталеином в щелочи в количестве 100 мл.

² Фосфатное число (ФЧ) представляет собой концентрацию растворенных в котловой воде фосфатов, выраженную в мг/кг PO_4^{3-} .

литную коррозию и накипеобразование, по он сравнительно легко нарушается, и поэтому его трудно поддерживать в эксплуатационных условиях;

2) $\text{ЩЧ} > 0,42 \text{ ФЧ}^*$; в этом случае в котловой воде наряду с Na_3PO_4 имеется также избыточная щелочность в виде NaOH которая способна достигать концентраций, опасных для котельного металла;

3) $\text{ЩЧ} = 0$, а $\text{ФЧ} > 0$; в этом случае в котловой воде имеется NaH_2PO_4 или Na_2HPO_4 , или смесь этих веществ; такой режим чисто фосфатной щелочности предотвращает межкристаллитную коррозию, но он не рационален с точки зрения требований по предупреждению накипобразования и общей коррозии металла;

4) $9^{**} < \text{ЩЧ} < 0,42 \text{ ФЧ}$; этот режим чисто фосфатной щелочности является практически приемлемым, так как он предотвращает межкристаллитную коррозию металла и накипеобразование.

На промышленных ТЭЦ, где парогенераторы барабанного типа с рабочим давлением 100 кгс/см^2 и выше питаются с добавкой щелочной химически обработанной воды, режим чисто фосфатной щелочности котловой воды неосуществим.

За последние годы в связи с усовершенствованием технологии умягчения воды и проведением ряда работ по уплотнению конденсаторов попадание солей кальция и магния в парогенераторы, особенно на конденсационных электростанциях, практически не происходит, и в составе накипи и шлама примеси кальция и магния содержатся в ничтожном количестве. С другой стороны, при создании фосфатного режима иногда наблюдается образование феррофосфатных отложений. При наличии фосфатов в котловой воде достаточен небольшой перегрев стенки металла парогенерирующей трубы, чтобы вызвать подшламовую коррозию с разрушением магнетитной пленки. Особенно опасны последствия этого разрушения, вызываемые сильно переменной нагрузкой парогенератора. В связи с этим на конденсационных электростанциях, где парогенераторы питаются конденсатом, а потери пара восполняются химически обессоленной водой или дистиллятом, а конденсаторы надежно уплотнены, наблюдается тенденция перехода на режим уменьшенного фосфатирования котловой воды либо на бесфосфатный режим. При переходе на эти режимы со-

* Коэффициент 0,42 является отношением молекулярных весов NaOH и PO_4^{3-} .

** Число 9 мг/кг NaOH является минимальным по условиям предотвращения накипобразования в парогенераторе концентрацией едкого натра, полученного в результате гидролиза фосфатов.

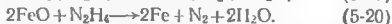
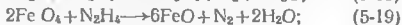
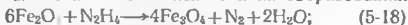
крашаются расходы на реагенты и обслуживающий персонал и в значительной мере упрощается работа котельного и химического цехов электростанции

Применение комплексообразующих реагентов (ЭДТА, трилона Б и др.) взамен обычного фосфатирования экономично при жесткости питательной воды меньше 100 мг-экв./кг. Основным условием эффективности такой обработки является дозирование комплексообразующего реагента в количестве, соответствующем концентрации содержащихся в воде катионов кальция и магния (моль на моль). Широкому внедрению на отечественных ТЭС метода непрерывной обработки воды комплексонами препятствуют высокая стоимость и дефицитность этих реагентов.

в) Предотвращение образования бескальциевых силикатных, железных и медных накипей

Коррекционный фосфатный режим котловой воды не способен предотвращать образование сложных бескальциевых силикатных накипей в парогенераторах барабанного типа высокого давления. Для того чтобы избежать этих отложений, необходимо в первую очередь всемерно снизить концентрацию соединений железа, алюминия и кремния в питательной и котловой водах. Кроме того, следует добиваться ликвидации в парообразующих трубах плохо охлаждаемых или «сухих» участков путем конструктивных изменений парогенераторов и упорядочения тепловых и гидродинамических условий работы их.

Практически полного предотвращения процесса железоокисного накипеобразования можно достичь путем гидразинной обработки питательной или котловой воды. Гидразин восстанавливает окислы железа до окислов низшей валентности и частично до металлического железа, чем объясняется эффективность его действия в качестве замедлителя железоокисного накипеобразования:



Доза гидразин-гидрата подбирается из расчета поддержания его избытка в котловой воде до 20–30 мг/кг

В качестве замедлителей процесса железоокисного накипеобразования могут быть также с успехом примене-

ны вещества, образующие прочные растворимые комплексные соединения с железом. При этом в воде будут отсутствовать как ионы железа, так и коллоидные частицы его, способные прикипать к поверхности нагрева.

Из опробованных комплексообразователей успешный эффект был достигнут при переходе с тринатрийфосфата на гексаметафосфат натрия; скорость образования железистых отложений при этом уменьшается в 4—5 раз. Реагируя с солями щелочноземельных металлов, гексаметафосфат натрия образует комплексы, в которых щелочноземельный металл находится в аннионе, например $4\text{Na}^+[\text{Ca}(\text{PO}_3)_6]^{4-}$. Эти комплексы обладают способностью «захвата» соединений железа, присутствующих в котловой воде.

Предотвращения процесса медного накипобразования можно достичь устранением местных чрезмерно высоких тепловых нагрузок либо вводом в котловую воду термически стойких веществ, образующих с медью достаточно прочные комплексные соединения.

Установлено, что в присутствии гексаметафосфата натрия скорость процесса медного накипобразования в сравнении с тринатрийфосфатным режимом резко замедляется, а зона тепловых нагрузок, при которых медная накипь вообще не образуется, значительно расширяется. При вводе гексаметафосфата натрия процесс отложения медной накипи начинается при плотности теплового потока 460 квт/м^2 против 230 квт/м^2 при обычном режиме фосфатирования. Дозирование гексаметафосфата натрия способствует также равномерному распределению по всей длине трубы незначительного количества рыхлых отложений, основной составляющей которых являются окислы железа.

Таким образом, применение гексаметафосфата натрия и гидразина, а также упорядочение гидродинамики парогенератора позволяют практически полностью предотвратить образование на поверхности нагрева отложений, состоящих из сложных силикатов, окислов железа и меди.

г) Шламовая продувка парогенераторов

При проведении фосфатного режима котловой воды в водяном объеме парогенератора образуется высокодисперсный шлам, который обычно скапливается в нижних точках циркуляционного контура (коллекторы экранов, нижние барабаны) и удаляется из парогенератора с по-

мощью периодической продувки котловой воды. Количество выделившегося в парогенераторе дисперсного шлама зависит от величины присосов жесткой воды в конденсаторах и других теплообменных аппаратах и количества и структуры производственной окарины и коррозионных отложений на внутренней поверхности парообразующих труб, продукты разрушения которых могут резко повысить концентрацию шлама в котловой воде.

При правильно организованном режиме периодической шламовой продувки парогенератора можно значительно ослабить или полностью избежать отложения «вторичной» накипи и заноса шламом внутренних поверхностей грубных пучков. Для того чтобы избежать опасности образования железистых накипей на электростанциях с восполнением потерь дистиллятом или обессоленной водой, величина шламовой продувки парогенератора должна быть не ниже 0,3%, а на промышленных ТЭС с добавкой химически обработанной воды — не ниже 0,5% паропроизводительности парогенератора.

д) Непрерывная продувка парогенераторов с многократной циркуляцией

Для предотвращения образования отложений в паровом тракте необходимо поддержание оптимальных эксплуатационных норм качества котловой воды, обеспечивающих получение чистого пара. Для этого следует выводить из парогенератора поступающие в него примеси путем непрерывной продувки, т. е. слива части котловой воды и замены ее питательной.

При непрерывной продувке устанавливается материальный баланс солей в парогенераторе: по достижении предельной концентрации тех или иных загрязнений с продувочной водой непрерывно выводится из парогенератора количество загрязнений, равное тому, которое поступает в него с питательной водой. При установившемся режиме работы парогенератора в условиях непрерывной продувки уравнение баланса солей в парогенераторе можно выразить так:

$$D_{п.в}a_{п.в} = D_{п}a_{п} + D_{пр}A_{к.в}, \quad (5-21)$$

где $D_{п}$ — паропроизводительность парогенератора, или количество испаряемой в нем воды, т/ч; $D_{пр}$ — количество продувочной воды, т/ч; $D_{п} + D_{пр} = D_{п.в}$ — количество

питательной воды, т/ч; $a_{пв}$, $a_{п}$, $A_{пв}$ — соответственно сухой остаток, г/т; кремниесодержание, г/т, и щелочность, г-экв/т, питательной воды, пара и котловой воды, которые принимаются по установленным нормам

Решив это уравнение относительно $D_{пр}$, можно определить количество продувочной воды, выводимой из парогенератора, по формуле

$$D_{пр} = \frac{a_{пв} - a_{п}}{A_{пв} - a_{пв}} D_{п} \quad (5-22)$$

Относительную величину продувки в долях $D_{п}$ можно выразить степенью продувки ϕ по формуле

$$\phi = \frac{D_{пр}}{D_{п}} = \frac{a_{пв} - a_{п}}{A_{пв} - a_{пв}} \quad (5-23)$$

или в процентах от $D_{п}$ по формуле

$$p = \frac{D_{пр}}{D_{п}} \cdot 100 = \frac{a_{пв} - a_{п}}{A_{пв} - a_{пв}} \cdot 100\% \quad (5-24)$$

Если концентрация примесей в паре $a_{п}$ значительно меньше концентрации их в питательной воде $a_{пв}$, уносом их с паром можно пренебречь. Тогда выражение для определения величины продувки примет более простой вид:

$$p = \frac{a_{пв}}{A_{пв} - a_{пв}} \cdot 100\% \quad (5-25)$$

Отсюда следует, что величину непрерывной продувки парогенераторов определяют солевой состав питательной воды и нормы качества продувочной котловой воды. Для каждого парогенератора эти нормы устанавливаются на основе теплотехнических испытаний, которые в значительной степени зависят от рабочего давления в парогенераторе и схемы внутрибарабанных сепарационных устройств.

Для более точного определения величины непрерывной продувки следует исходить из весового баланса солей с учетом водяного баланса ТЭС по отдельным компонентам питательной воды, химического состава каждого из компонентов питательной воды (конденсата турбины и внешних потребителей пара, добавочной питательной воды, пара, выдаваемого парогенератором и отсепа-

рированного в расширителе непрерывной продувки, и др.);

$$(1-\alpha'')D_{\text{пн}}a_k + [\alpha' + \alpha'' + (1-\beta)\varphi]D_{\text{пн}}a_{\text{дв}} + \beta\varphi D_{\text{пн}}a'_{\text{п}} = \varphi D_{\text{пн}}A_{\text{кв}} + (1+\alpha')D_{\text{пн}}a_{\text{п}} \quad (5-26)$$

где $D_{\text{пн}}$ — паропропускная способность котельной нетто без учета внутростанционных потерь конденсата, т/ч; α' — доля внутростанционных потерь конденсата от $D_{\text{пн}}$; α'' — доля потерь у внешних потребителей пара от $D_{\text{пн}}$; β — доля во врата в цикл пара, отсепарированного в расширителе непрерывной продувки, от естественной продувки; $a_{\text{п}}$ — содержание, г/т, кремния в конденсате (турбин, подогревателей, паропреобразователей); $A_{\text{кв}}$ — то же для качества продувочной котловой воды; $a_{\text{дв}}$ — то же для качества добавочной питательной воды; $a_{\text{п}}$ и $a'_{\text{п}}$ — то же для качества насыщенного пара из барабана и пара, отсепарированного в расширителе непрерывной продувки; $\varphi = p/100$ — «степень продувки» в долях $D_{\text{пн}}$.

Величину β можно определить по формуле

$$\beta = \frac{i'_{\text{п}} - i'_{\text{р}}}{i_{\text{р}}} \eta_{\text{р}} \quad (5-27)$$

где $i'_{\text{п}}$ и $i'_{\text{р}}$ — энтальпии продувочной воды соответственно при давлениях в парогенераторе и расширителе; $i_{\text{р}}$ — теплота парообразования при давлении в расширителе; $\eta_{\text{р}}$ — к. п. д. расширителя, учитывающий потерю тепла расширителем в окружающую среду и равный 0,9–0,95.

Обозначив $D_{\text{пр}} = \varphi D_{\text{пн}}$, найдем:

$$D_{\text{пр}} = \frac{(1-\alpha'')a_k + (\alpha' + \alpha'')a_{\text{дв}} - (1+\alpha')a_{\text{п}}}{A_{\text{кв}} - (1-\beta)a_{\text{дв}} - \beta a'_{\text{п}}} D_{\text{пн}} \quad (5-28)$$

Если обозначить через $D_{\text{с}} = (1-\alpha'')D_{\text{пн}}$ суммарное количество конденсата, во вводимого во внешний потребителями пара, а через $D_{\text{в}} = (\alpha' + \alpha'')D_{\text{пн}}$ — количество добавочной химически обработанной воды, идущей на восполнение внутростанционных и внешних потерь конденсата, но без учета потерь питательной воды с продувкой парогенераторов, то расчетная формула для определения количества продувочной воды с учетом частичного ипользования ее в расширителе примет вид:

$$D_{\text{пр}} = \frac{D_{\text{с}}a_k + D_{\text{в}}a_{\text{дв}} - (1+\alpha')D_{\text{пн}}a_{\text{п}}}{A_{\text{кв}} - (1-\beta)a_{\text{дв}} - \beta a'_{\text{п}}}, \text{ т/ч}, \quad (5-29)$$

или в процентах

$$p = \frac{(1 - \alpha'') a_{\text{ж.н}} + (\alpha' + \alpha'') a_{\text{д.н}} - (1 + \alpha') a_{\text{п}}}{A_{\text{ж.н}} - (1 - \beta) a_{\text{д.н}} - \beta \alpha' a_{\text{п}}} \cdot 100 \quad (5-30)$$

Для конденсационной электростанции и чисто отгонительной ТЭЦ, для которых $\alpha'' = 0$, формула (5-30) примет вид:

$$p = \frac{a_{\text{ж.н}} + \alpha' a_{\text{д.н}} - (1 + \alpha') a_{\text{п}}}{A_{\text{ж.н}} - (1 - \beta) a_{\text{д.н}} - \beta \alpha' a_{\text{п}}} \cdot 100. \quad (5-31)$$

Если концентрации солей в конденсате $a_{\text{ж.н}}$, насыщенном паре парогенератора $a_{\text{п}}$ и насыщенном паре, отсепарированном в расширителе непрерывной продувки, $\alpha'_{\text{п}}$ гораздо меньше концентрации солей в добавочной воде $a_{\text{д.н}}$, то формула (5-30) примет вид:

$$p = \frac{(\alpha' + \alpha'') a_{\text{д.н}}}{A_{\text{ж.н}} - (1 - \beta) a_{\text{д.н}}} \cdot 100. \quad (5-32)$$

Такое упрощение недопустимо при вычислении продувки по кремниевой кислоте для парогенератора высокого и сверхвысокого давлений, где величина $a_{\text{п}}$ может быть соизмерима с $a_{\text{д.н}}$ и отбрасывание членов, относящихся к уносу кремниевой кислоты насыщенным паром, приводит к ошибочным результатам, в особенности при величине продувки $p < 1\%$. В основу расчетов устройств непрерывной продувки и выбора производительности водоподготовительной установки следует положить большее из значений потребности продувки (по соледержанию, кремнедержанию либо щелочности).

Вывод продувочной котловой воды из барабана парогенератора, не оснащенного устройствами ступенчатого испарения, производится с помощью водозаборных труб с отверстиями или насадками по всей длине, размещенных в барабане в зоне наибольших солевых концентраций, т. е. рядом с местами ввода кипяtilьных или отводящих экранных труб. В парогенераторах, оснащенных устройствами ступенчатого испарения, продувочная вода выводится из части барабана, куда включена вторая или третья ступень испарения, а при наличии выносных циклонов для последней ступени испарения — из этих циклонов.

В парогенераторах, питающихся с большой добавкой химически обработанной воды, потребная непрерывная продувка может достигать 3—5% и выше, что сопряже-

но с большими потерями тепла с продувочной водой. Поэтому последнюю направляют в расширитель продувочной воды, где происходит частичное испарение ее. Выделившийся в расширителе пар сепарируется и направляется в деаэратор для использования его тепла и полученного из него конденсата. В поверхностных подогревателях используется также большая часть тепла самой продувочной воды, уходящей из расширителя.

Принципиальная схема устройств для непрерывной продувки парогенераторов (с использованием тепла продувочной воды) изображена на рис. 5-3.

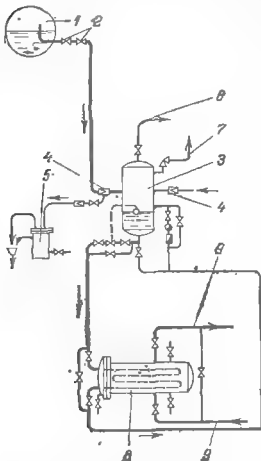


Рис. 5-3. Принципиальная схема устройств для непрерывной продувки парогенератора с использованием тепла продувочной воды. 1 — верхний барабан парогенератора, 2 — запорные игольчатые вентили, 3 — расширитель, 4 — дроссельный регулирующий вентиль, 5 — охладитель для отбора пробы котловой воды, 6 — пар в деаэратор, 7 — пар в атмосферу, 8 — поверхностный охладитель продувочной воды, 9 — химически обработанная вода.

Котловая вода, выводимая из барабана 1, вначале проходит через запорные игольчатые вентили 2 и далее через дроссельный регулирующий вентиль 4, который обычно располагается на штуцере расширителя 3. В расширителе непрерывной продувки давление поддерживается на уровне давления в термическом деаэраторе, куда обычно отводится выпар 6 из расширителя. Уровень воды в расширителе поддерживается на определенной высоте с помощью поплавкового регулятора, воздействующего на выходную дроссельную заслонку отсепарированной воды.

При значительном расходе продувочной воды рекомендуется после расширителя устанавливать охладитель продувочной воды 8, в котором она подогревает химически обработанную воду 9, направляемую в деаэратор. Продувочная вода по выходе ее из охладителя используется для подпитки тепловых сетей или взрывчатой промывки осветлительных фильтров, работающих на горячей воде, она может быть направлена также в осветлитель водоподготовительной установки, работающей по методу осаждения накипесобразователей.

Как известно, парогенераторы повышенного давления могут надежно работать при солевых концентрациях котло-

ной воды, значительно более низкий, чем в парогенераторах и. д. Поэтому продувочная вода парогенераторов с более высоким давлением может быть с успехом использована для питания парогенераторов с более низким давлением, при этом барабаны парогенераторов пониженного давления выполняют роль расширителей. Подобная схема использования продувочной воды позволяет получить дополнительное количество пара в парогенераторах низкого давления за счет разности энтальпий котловой воды при различных давлениях. Кроме того, отпадает необходимость в расширителях и теплообменниках для парогенераторов повышенного давления. Аналогичным образом продувочная вода парогенераторов может быть использована для питания менее требовательных к качеству питательной воды испарителей и паропреобразователей. При отсутствии потребителей продувочной воды она на выходе из теплообменника сливается в барботер, где охлаждается холодной водой до 30—50 °С, после чего она может быть спущена в канализацию. Для того чтобы иметь возможность посредством непрерывной продувки поддерживать заданный режим котловой воды, парогенераторы должны быть оснащены устройствами, обеспечивающими удобство регулирования и измерения расхода продувочной воды.

На промышленных ТЭЦ при значительных и переменных по величине добавках химически обработанной воды солесодержание питательной воды изменяется в широких пределах; если же наряду с этим имеет место непостоянство паропроизводительности парогенераторов, то узел непрерывной продувки должен обладать достаточно широкими пределами регулирования. Регулирование продувки в подобных случаях осуществляется с помощью параллельно или последовательно включенных дроссельных шайб, иглозатых вентилей, задвижек или вентилей со ступенчатым изменением проходного сечения.

Обязательным условием правильной работы органов, регулирующих расход продувочной воды, и приборов, его измеряющих, является однофазность среды, т. е. отсутствие в продувочной воде пузырьков пара при всех режимах работы парогенератора.

На рис. 5-4 изображена схема узла со ступенчатым регулированием продувки, осуществляемым с помощью трех параллельно включенных дроссельных ограничительных шайб разной пропускной способности. Включая открытие обычных запорных вентилей одну или несколько протарированных по расходу шайб, можно достаточно точно регулировать размер продувки. Недостатками данной схемы являются увеличенное количество запорной арматуры, неплотное закрытие которой приводит к разверке расхода продувочной воды; большое число переключений, связанных с регулированием, засорение шламом шайб малого проходного сечения. Поэтому в котельных высокого давления для ограничения и регулирования продувки применяются дроссельные вставки, состоящие из нескольких последовательно включенных шайб разных диаметров, но не меньше 3—4 мм. Количество вставок и диаметр проходного отверстия шайб

подбираются с таким расчетом, чтобы давление после дроссельного устройства было достаточным для преодоления сопротивления проводочной линии при данном расходе воды.

На рис. 5-5 изображена принципиальная схема устройства узла регулирования и контроля непрерывной продувки с игольчатым вентилем, включенным параллельно вентилю прямого хода. С помощью предварительно протарированного манометра, подключенного к коллектору. Можно по перепаду давлений на участке между ре-

гидравлическими устройствами и задвижкой-вентилем на входе продуктивной воды в расширитель не только контролировать относительное изменение расхода непрерывной продукции, но и непосредственно учитывать величину продукции с достаточной для практики степенью точности. Более совершенным решением является установка расходомера перед регулирующими вентилями, а также солемера колодезной воды.

При ручном регулировании непрерывной продуктив возможен значительные колебания состава котловой воды. Это приводит к необходимости поддерживать повышенные значения содесодержания и кремнедесодержания котловой воды, чтобы избежать ухудшения качества пара.

Автоматизация непрерывной продувки путем уставки регулятора солеоседания котловой воды дает возможность без опасности ухудшения качества пара повысить эксплуатационные нормы солеоседания котловой воды и соответственно уменьшить размер продувки. Кроме того, переход на автоматическое регулирова-

Рис. 5-4. Схема узла контроля и регулирования непрерывной продувки дроссельными шайбами.

1 — барабан парогенератора; 2 — запорный вентиль; 3а — дроссельная шайба с сечением 1; 3б — то же с сечением 2; 3в — то же с сечением 4; 4 — продуква в барботер; 5 — продуква в расширитель; 6 — коллектор.

непрерывной продувки способствует стабилизации солевого содержания котловой воды, что повышает надежность эксплуатации.

Непрерывная продувка парогенератора связана с неизбежными потерями, так как с продувочной водой из парогенератора отводится тепло при потенциальном, соответствующем процессу получения насыщенного пара, а используется это тепло при более низком потенциале. Пар, образующийся в расширителе продувочной воды, заменяет пар, который мог бы быть использован до того же давления в турбине с выработкой электроэнергии на тепловом потреб-

Для того чтобы правильно учесть потери тепла с продувкой парогенераторов, должен быть произведен полный расчет тепловой

схемы с учетом влияния величины продувки на общий к. п. д. ТЭС. Результаты подобных расчетов для парогенераторов давлением 140 кгс/см^2 показывают, что даже при хорошем использовании тепла продувочной воды каждый процент продувки обуславливает увеличение удельного расхода топлива примерно на 0,2%. Поэтому необходимо стремиться к уменьшению величины продувки.

В правилах технической эксплуатации ТЭС указаны следующие максимальные и минимальные величины непрерывной продувки парогенераторов в зависимости от качества питательной воды:

а) при восполнении потерь на электростанции дистиллятом или химически обессоленной водой величина продувки должна быть не больше 0,5 и не меньше 0,3%;

б) при восполнении потерь химически обработанной водой величина продувки должна быть не больше 3 и не меньше 0,5%;

в) при невозврате потребителями свыше 30% конденсата при данной паропроизводительности котельной и содержании добавочной химически обработанной воды свыше 300 мг/кг допускается увеличение продувки до 5%.

Максимальная величина продувки установлена для ограничения тепловых потерь, минимальная — для предотвращения шламовых отложений на обогреваемых поверхностях. Если определяемая расчетным путем величина потребной продувки парогенератора превышает экономически приемлемые значения, то для уменьшения продувки следует либо улучшить качество добавочной питательной воды, применив более совершенную схему водоподготовки, либо оборудовать парогенератор более эффективными внутрикотловыми устройствами, которые обеспечивают получение пара требуемого качества при более высоких содержании, кремнекислотности и ще-

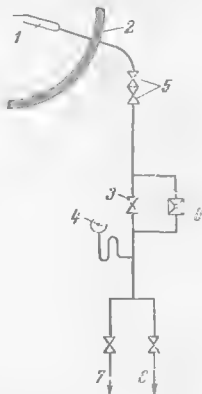


Рис. 55 Схема узла контроля и регулирования непрерывной продувки игольчатым вентилем.

1 — водоотборная труба; 2 — барабан парогенератора; 3 — вентиль прямого хода; 4 — манометр; 5 — запорный вентиль; 6 — игольчатый вентиль; 7 — к барботеру; 8 — к расширителю.

лочки продувочной воды. Целесообразность того или иного решения может быть выявлена лишь на основе технико-экономического сравнения обоих вариантов для заданных условий.

е) Ступенчатое испарение и промывка пара

Советский ученый Э. Н. Ромм предложил оригинальный способ получения пара высокого качества в парогенераторах барабанного типа при экономически приемлемой величине продувки, который получил название ступенчатое испарение. Сущность этого способа состоит в получении пара из зон с различной

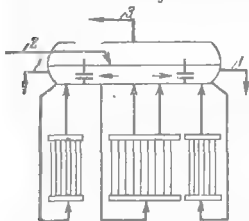


Рис. 56 Схема двухступенчатого испарения с двусторонним расположением солевых отсеков в барабане парогенератора. 1 — продувка, 2 — питательная вода; 3 — пар

концентрацией солей в котловой воде. В обычных условиях питательная вода с малым содержанием и низкой щелочностью, поступая в барабан, смешивается с концентрированной котловой водой, и выделение пара происходит из воды, имеющей значительно более высокую концентрацию солей и щелочей, чем питательная вода. При этом концентрации котловой и продувочной воды одинаковы, и тем самым качество насыщенного пара в значительной мере определяется концентрацией

примесей в котловой воде, с которой генерируемый пар находится в контакте перед выходом его в паровой объем парогенератора. Между тем, если поддерживать пониженные концентрации веществ в котловой воде, из которой генерируется пар, и более высокую концентрацию их в продувочной воде, то качество пара будет определяться низкой концентрацией веществ в котловой воде парогенератора.

При наличии внутри водяного объема парогенератора зон с различной концентрацией солей в котловой воде благодаря искусственно созданной неравномерности солевого содержания, т. е. некоторому организованному «хими-

ческому перекоосу», качество котловой воды отличается от качества продувочной вод. и касадня не определя-ет чистоты пара.

Пароген ратор со ступенчатым испарением представляет собой обшнй парогенератор с естественной циркуляцией, который уста-новленными в барабане и коллекторах перегородками разделен на несколько самостоятельных контуров циркуляции. Водяные объемы этих контуров сообщаются только через отверстие, сделанное в раздвительной внутрибарабанной перегородке. Теоретически парогенератор может быть разделен на любое число ступеней, но в прак-тических условиях обычно ограничиваются двумя или тремя ступе-нями испарения.

При двухступенчатом испарении часть парогенератор в ко-торую подается питательная вода, на ывают «чистым» отсеком (первая ступень испарения), а остальную часть — «соле-вым» отсеком (вторая сту-пень испарения). В парогенера-торах, оснащенных устройства-ми трехступенчатого испарения, имеются соответственно чистый отсек и солевые отсеки второй и третьей ступеней испарения.

Для второй ступени испа-рения отделяется часть объема с одного или двух торцов ба-рабана (рис. 5-6) либо устанавливаются выносные циклоны, подключенные к боковым эк-ранам поверхности пароген-ератора (рис. 5-7).

Благодаря тангенциально-му подводу пароводяной смеси в вертикальный цилиндриче-ский корпус циклона в нем га-сит я кинетическая энергия па-роводяной смеси, а быстрое вращение ее в зоне зеркала испарения способствует интен-сивну му разрушению пены. Пи-тательная вода подается в чи-стый отсек барабана, из кото-рого осуществляет я питание солевых отсеков в ба-рабане либо вы-носных циклонов.

В ре зультат такой организации питания отдельных циркуля-ционных контуров парогенератора солесодержание, щелочность и кремнесодержание котловой воды растут от первой ступени к по-следней, относительная продувка каждой ступени испарения по-лучается весьма значительной, а продувка парогенератора в це-лом — очень небольшой. При этом, несмотря на повышенное крем-несодержание котловой воды в с т е ж е отсеках, и бярательный вы-нос кремниевой кислоты из них уменьшается благодаря более высокой гидратной щелочности котловой воды в этих отсеках.

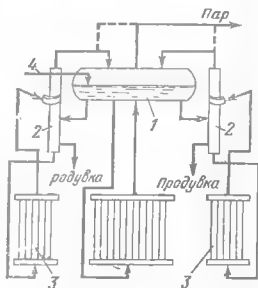


Рис. 5-7. Схема двухступенчатого испарения с выносными цикло-нами

1 — барабан парогенератора, 2 — цик-лон, 3 — боковой экран, 4 — подвод питательной воды.

Организация водного режима парогенератора со ступенчатым испарением имеет то преимущество перед парогенератором без ступенчатого испарения, что большая часть пара в нем вырабатывается в чистом отсеке с концентратом котловой воды, существенно меньшими по сравнению с концентрацией продувочной воды, выводимой из меньших по паропроизводительности солевых отсеков.

Составим уравнения баланса солей для первой и второй ступеней испарения парогенератора с двухступенчатым испарением, пренебрегая уносом солей с паром:

$$(D_{\text{п}} + D_{\text{пр}}) a_{\text{п в}} = (D'' + D_{\text{пр}}) A'_{\text{к в}}; \quad (5-33)$$

$$(D'' + D_{\text{пр}}) A'_{\text{к в}} = D_{\text{пр}} A''_{\text{к в}}, \quad (5-34)$$

где $A'_{\text{к в}}$ и $A''_{\text{к в}}$ — концентрации примесей (солеосодержание, кремнеосодержание, содержание истинно растворенных окислов железа, щелочность) в котловых водах чистого и солевых отсеков, г/т; D'' — количество пара, вырабатываемое второй ступенью испарения в парогенераторе, т/ч.

Остальные обозначения те же, что и при расчете продувки.

Разделив каждое уравнение на $D_{\text{п}}$ и введя обозначения $D_{\text{пр}}/D_{\text{п}} = \varphi$ и $D''/D_{\text{п}} = n_2$, где φ — степень продувки в долях $D_{\text{п}}$ и n_2 — паропроизводительность второй ступени испарения (солевого отсека) в долях, получим:

$$(1 + \varphi) a_{\text{п в}} = (n_2 + \varphi) A'_{\text{к в}}; \quad (5-35)$$

$$(n_2 + \varphi) A'_{\text{к в}} = \varphi A''_{\text{к в}}. \quad (5-36)$$

Из этих уравнений определяем концентрацию примесей котловой воды для каждой ступени испарения:

$$A'_{\text{к в}} = \frac{1 + \varphi}{n_2 + \varphi} a_{\text{п в}}; \quad (5-37)$$

$$A''_{\text{к в}} = \frac{1 + \varphi}{\varphi} a_{\text{п в}}. \quad (5-38)$$

Концентрации примесей в паре, вырабатываемом каждой ступенью испарения, равны:

$$a'_{\text{п}} = K'_{\text{р}} A'_{\text{к в}} \text{ и } a''_{\text{п}} = K''_{\text{р}} A''_{\text{к в}}.$$

Общую концентрацию примесей в паре, вырабатываемом парогенератором, при отсутствии переброса или

перетока котловой воды из солевого отсека в чистый можно определить по формуле

$$a_{\text{п}} = n_1 a'_{\text{п}} + n_2 a''_{\text{п}} = n_1 K'_p A'_{\text{п в}} + n_2 K''_p A''_{\text{п в}} = \\ = \left[K'_p \frac{n_1 (1 + \varphi)}{n_2 + \varphi} + K''_p \frac{n_2 (1 + \varphi)}{\varphi} \right] a_{\text{п в}}, \quad (5-39)$$

где $n_1 = 1 - n_2$ — паропроизводительность первой ступени испарения в долях $D_{\text{п}}$.

Значения коэффициентов распределения по отсекам парогенератора различаются, в особенности для кремниевой кислоты, для которой, как известно, значение $K_p^{\text{SiO}_2} = f(\text{pH})$. Однако для упрощения приняв, что $K'_p = K''_p = K_p$, и сделав элементарные преобразования, получим:

$$a_{\text{п}} = K_p \frac{1 + \varphi}{\varphi} \left[\frac{n_1 \varphi}{n_2 + \varphi} + n_2 \right] a_{\text{п в}}, \quad \text{г/м}. \quad (5-40)$$

По этой формуле можно определить концентрацию примесей (солесодержания, кремнесодержания и щелочности) в паре при любых возможных значениях коэффициента распределения K_p , степени продувки φ , относительных производительностях чистого n_1 и солевого n_2 отсеков и концентрации указанных примесей в питательной воде $a_{\text{п в}}$.

Опыт эксплуатации показывает, что в парогенераторах, оснащенных устройствами ступенчатого испарения, качество пара (солесодержание, кремнесодержание) заметно улучшается по сравнению с парогенератором без этих устройств при сохранении той же величины продувки и того же качества питательной воды. При этом увеличивается вывод из парогенератора примесей с продувочной водой и соответственно уменьшается унос их

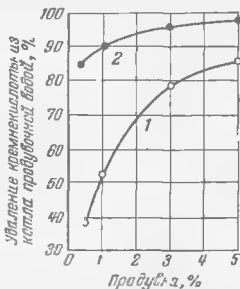


Рис. 5-8. Количество кремниевой кислоты, удаляемой из парогенератора с продувочной водой, в зависимости от величины продувки парогенератора.

В расчетах принято:

$$K_1^{\text{SiO}_2} = 0,8\%; \quad K_2^{\text{SiO}_2} = 0,3\%; \\ n_2 = 30\%.$$

1 — парогенератор без ступенчатого испарения, 2 — парогенератор со ступенчатым испарением.

с насыщенным паром (рис. 5-8). Отношение концентраций котловых вод второй ступени испарения и чистого отсека называют кратностью концентраций k , величина которой характеризует эффективность ступенчатого испарения. Чем выше величина k , тем экономичнее схема. На практике величина k ограничивается в пределах 3—10, так как при $k > 10$ могут создаваться высокие концентрации фосфатов и окислов железа в котловой воде, опасные с точки зрения образования отложений на поверхностях нагрева солевых отсеков.

Существенное влияние на ухудшение качества котловой воды в чистом отсеке оказывает обратный переток котловой воды из солевых отсеков в чистый через водоперепускную трубу, по которой осуществляется продувка из чистого отсека в солевой, либо переброс котловой воды из солевого отсека в чистый при ее вспенивании и набухании. Подобные обратные перетоки и перебросы котловой воды могут привести к заметному снижению кратности солевых концентраций между ступенями, т. е. к уменьшению эффективности ступенчатого испарения. Чтобы избежать этого, предусматриваются специальные устройства для улавливания переброса и предотвращения обратных перетоков котловой воды.

Организация водного режима парогенератора с применением схемы ступенчатого испарения дает возможность значительно повысить концентрации примесей в продувочной воде без ухудшения качества пара. Тем самым представляется возможным уменьшить потребную продувку парогенератора до экономически приемлемой величины, а также снизить требования к соле- и кремнесодержанию питательной воды. В тех случаях, когда при заданных условиях (высококинтративованная исходная вода, большая величина добавки питательной воды, высокое рабочее давление пара, лимитированная величина продувки и т. п.) оптимальные схемы ступенчатого испарения не в состоянии обеспечить требуемую чистоту пара, могут быть с успехом применены более эффективные схемы организации водного режима парогенераторов барабанного типа, а именно промывка предварительно осушенного насыщенного пара питательной водой либо сочетание промывки пара со ступенчатым испарением.

Сущность способа промывки пара состоит в том, что в процессе промывки вещества, унесенные в капелях

котловой воды, а также истинно растворенные в паре, частично переходят в промывочную воду, а влажный промытый пар повторно осушается с помощью сепарационного устройства, расположенного в барабане парогенератора, после чего пар поступает в пароперегреватель.

Переход кремниевой кислоты и других растворенных в насыщенном паре веществ в промывочную воду происходит вследствие того, что равновесная концентрация кремниевой кислоты в паре при контакте его с промывочной водой меньше, чем при контакте его с котловой водой, из которой образовался пар. Этот переход начинается при прохождении пара через слой промывочной воды и продолжается в паровом пространстве над слоем промывочной воды, а уже в капли воды, образующиеся при разрыве пузырей при выходе их в паровой объем барабана.

Обеспечение с помощью промывки требуемого качества пара базируется на той закономерности, что чистота промытого пара определяется чистотой промывочной воды, с которой он контактируется. Степень промывки пара зависит от величины коэффициента распределения неорганических соединений между жидкой и паровой фазами, ибо промывочная вода не может поглощать вещество из пара больше определенной равновесной концентрации. Так как кремниевая кислота и другие неорганические соединения растворяются в воде больше, чем в паре, то при промывке пара эти вещества будут унесены с паром в количестве, пропорциональном содержанию их в промывочной, а не котловой воде.

Чистоту промытого пара можно приближенно оценить, пользуясь формулой

$$a_{\text{ш}} = (W + K_p) a_{\text{пр в}}, \quad (5-41)$$

где W — влажность промытого пара в долях единицы; K_p — коэффициент распределения в долях единицы; $a_{\text{пр в}}$ — концентрация примесей в промывочной воде.

Величина коэффициента распределения для кремниевой кислоты составляет для парогенераторов сверхвысокого давления 15% при гидратной щелочности менее 0,1 мг-экв/кг и 5—10% при гидратной щелочности 0,2—0,3 мг-экв/кг.

Для осуществления процесса промывки пара питательная вода подается в специальные устройства, рас-

положенные в паровом объеме барабана парогенератора и отделенные от доступа котловой воды. Промывочная питательная вода, после того как она контактировала с насыщенным паром, поступает в котловую воду и смешивается с ней.

Известны следующие способы промывки пара: *барботаж пара через слой питательной воды, пропуск его через сепараторы, смачиваемые питательной водой, и, наконец, распыливание питательной воды в потоке пара.*

В современных парогенераторах барабанного типа широко применяется барботажная промывка пара, которая обеспечивает наиболее полный контакт

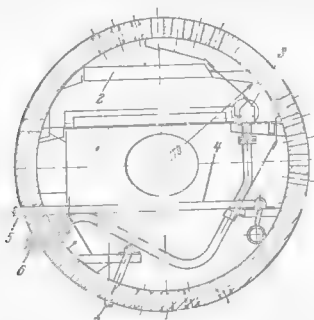


Рис 5-9 Барботажное промывочное устройство с затопленным дырчатым листом.

1 — промывочное устройство, 2 — железный сепаратор, 3 — питательное корыто, 4 — дырчатый лист, 5 — непрерывная продувка, 6 — питательная труба, 7 — ввод фосфатов.

пара с промывочной водой. Промывочное барботажное устройство представляет собой затопленный плоский дырчатый щит (рис. 5-9) с закраинами, отскакивающими требующейся высоте промывочного слоя (приблизительно 40—50 мм). На конденсационных электростанциях и чисто отопительных ТЭЦ на барботажное промывочное устройство подается вся питательная вода, а на про-

мышленных ТЭЦ, использующих в качестве добавки химически обработанную воду, на паропромывочное устройство подается от 50 до 100% питательной воды.

Общий эффект от применения промывки пара определяется к. п. д. как самого паропромывочного устройства, так и сепарирующих устройств, осушающих пар до и после промывки его. Коэффициент полезного действия собственно промывки пара представляет собой отношение количества удаленного вещества к теоретически возможному количеству, т. е. он указывает, насколько промывка приближается к пределу очистки. Если бы содержание вещества в паре достигло концентрации, отвечающей коэффициенту распределения, то эффективность промывки была бы равна 100%, т. е. отвечала бы максимально возможной — теоретической — очистке пара. При ограниченной высоте промывочного слоя, которая имеет место в случае размещения паропромывочного устройства в паровом объеме барабана, величина к. п. д. собственно барботажной промывки составляет примерно 80%.

Для любой схемы внутрикотловых устройств важной характеристикой является доля уловленных ими в парогенераторе неорганических примесей от общей концентрации их в питательной воде. Применительно к парогенераторам с паропромывочными устройствами этот показатель зависит от: а) разности концентраций солей и кремниевой кислоты в паре, поступающем на промывочное устройство, и соответственно в промывочной воде; б) гидратной щелочности промывочной воды; в) отношения расхода промывочной воды к расходу пара; г) величины поверхности и продолжительности контактирования пара с промывочной водой; д) значений коэффициентов массообмена, характеризующих интенсивность перехода того или иного вещества, растворенного в воде, в промывочную воду.

Экспериментальные и эксплуатационные данные свидетельствуют о том, что паропромывочные устройства снижают кремнеобразование пара в среднем в 2—3 раза.

На промышленных ТЭЦ высокого давления (100 кгс/см^2) при значительной добавке химически обработанной воды обычно применяется комбинированная схема внутрикотловых устройств, которая предусматривает сочетание трехступенчатого испарения с барботажной промывкой питательной водой всего пара либо только пара из солевых отсеков (рис. 5-10). Иногда пар промывается котловой водой чистого отсека; с этой целью пар из солевых отсеков подается под уровень воды в чистом отсеке. На конденсационных электростанциях и чисто отопительных ТЭЦ, где парогенераторы барабанного типа сверхвысокого давления (140 кгс/см^2) питаются с добавкой химически обессоленной воды либо дистиллята испарителей, часто применяется схема двухступенчатого испарения с выносной второй ступенью, имеющей паропроизводительность 3—6% $D_{\text{ц}}$, которая

сочетается с барботажной промывкой пара. Из этих парогенераторов с паром уходит от 2 до 8% кремниевой кислоты, внесенной питательной водой.

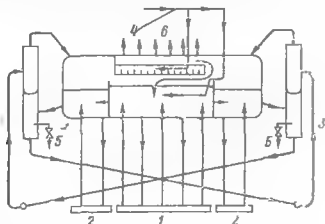


Рис. 5-10. Схема трехступенчатого испарения с выносными циклонами и барботажной промывкой пара.

1 — пароводяная система чистого отсека 2 — вторая ступень испарения, 3 — третья ступень испарения, 4 — питательная вода, 5 — продукция, 6 — в пароперегреватель.

ж) Нормирование качества питательной и котловой воды парогенераторов с многократной циркуляцией

Питательная вода

Качество питательной воды парогенераторов с многократной циркуляцией должно удовлетворять нормам, представленным в табл. 5-1 и 5-2.

Компоненты питательной воды

Качество конденсата турбины должно отвечать следующим нормам:

а) жесткость конденсата при питании парогенераторов с многократной циркуляцией с давлением в барабане до 40 кгс/см^2 не более 10 мкг-экв/кг , с давлением от 40 до 110 кгс/см^2 не более 5 мкг-экв/кг и с давлением 155 кгс/см^2 не выше 3 мкг-экв/кг ;

б) содержание кислорода после конденсатных насосов при питании парогенераторов с давлением до

Таблица 5.1
Нормы максимально допустимого содержания примеси в питательной воде парогенераторов с многоступенчатой циркуляцией

Нормируемый показатель	Растворимость	Типы I—С и давление пара в барах, кгс/см ²				
		К—С		IЭЦ		
		40	40—110	155	40	40—110
Жесткость общая	мкг-экв./кг	10	5	3	10	5
Кремниевая кислота (в пересчете на SiO ₂)	мкг/кг	—	100	50	—	—
Растворенный кислород	мкг/кг	30	20	10	30	20
Свободная углекислота	мкг/кг	0	0	0	0	0
Аммиак	мкг/кг	500	100	500	до 1000	до 1000
Нитриты и нитраты	мкг/кг	20	20	20	20	20
Соединения железа (в пересчете на Fe) ^{***}	мкг/кг	200	50	20	200	50
Соединения меди (в пересчете на Cu) ^{***}	мкг/кг	10	5	5	10	5
Масла и нефтепродукты	мг/кг	1	0,3	0,3	1	0,3
Щелочь pH	—	8,5—9	8,5—9	9±0,2	8,5—9	8,5—9
Избыток гидразина	мкг/кг	От 30 до 100				

* Нормируется по данным технологических испытаний

** В числителе—при работе на нефтяном топливе, в знаменателе—при работе на других видах топлива

Таблица 5-2

Расчетные нормы максимально допустимого соле- и кремне-содержания питательной воды парогенераторов с многократной циркуляцией при давлении пара в барабане 155 кгс/см²

Схемы внутрикотловых устройств	Солеосодержание мг/кг	Содержание SiO ₂ мг/кг
Без ступенчатого испарения, но с барботажной промывкой всего пара	2	30
Двухступенчатое испарение при внутрибарабанных солевых отсеках и барботажная промывка пара	10	100
Двухступенчатое испарение при выносных солевых отсеках и барботажная промывка всего пара	80	150
Трехступенчатое испарение при внутрибарабанных отсеках II ступени и выносных отсеках III ступени испарения и барботажная промывка пара	150	300

110 кгс/см² не более 500 мг/кг, с давлением 155 кгс/см² не более 20 мг/кг;

в) содержание свободной углекислоты при добавке химически очищенной воды не более 1 мг/кг, а при добавке обессоленной воды свободная углекислота в конденсате должна отсутствовать.

Качество остальных составляющих питательной воды: дистиллята испарителей, химически очищенной или обессоленной воды, конденсата регенеративных, сетевых и других подогревателей, а также возвращаемого потребителями конденсата — должно обеспечивать выполнение нормы качества питательной воды парогенераторов. При загрязненности, не обеспечивающей поддержания этих норм, составляющие питательной воды должны подвергаться предварительной очистке до возвращения их в цикл.

Качество воды, применяемой для впрыскивания при регулировании температуры перегретого пара, должно удовлетворять следующим нормам: жесткость не более 3 мг-экв/кг; соле- и кремне-содержание должны быть такими, чтобы качество перегретого пара отвечало нормам; содержание железа и меди не должно превышать норм для питательной воды. Вода для питания испари-

телей должна удовлетворять следующим нормам: жесткость — не более 30 мг-экв/кг, а при соледержании исходных вод более 2000 мг/кг — не более 75 мг-экв/кг; содержание кислорода — не более 30 мг/кг; свободная углекислота должна отсутствовать.

Котловая вода

Эксплуатационные нормы качества котловой воды, обеспечивающие длительную беспрерывную работу парогенераторов барабанного типа и турбин без снижения их экономичности и мощности, устанавливаются на основе результатов специально проводимых теплохимических испытаний парогенераторов и турбин.

В результате теплохимических испытаний парогенераторов с многократной циркуляцией должны быть выявлены качество выдаваемого пара при различных нагрузках, уровнях воды в барабане и водных режимах; эксплуатационные нормы качества котловой воды в чистом и солевом отсеках; эффективность ступенчатого испарения, сепарации и промывки пара; кратность концентраций примесей котловой воды по отсекам при ступенчатом испарении; критическая нагрузка парогенератора, превышение которой вызывает броски котловой воды; допустимый верхний уровень воды в барабане, зависимость качества пара от режима работы парогенератора (сброс и подъем нагрузки), а также от порядка ввода коррекционных реагентов; степень загрязнения пара за счет вырыска и пропусков охлаждающей воды в парохладителях; степень отложения в пароперегревателе веществ, содержащихся в котловой воде; значения коэффициентов выноса кремниевой кислоты паром из чистого и солевого отсеков.

При проведении теплохимических испытаний парогенераторов с многократной циркуляцией наибольший практический интерес представляют величины критического содержания солей и кремниевой кислоты в котловой воде при максимальной длительной нагрузке парогенератора и при уровне воды, лежащем в пределах, допустимых правилами эксплуатации.

Если в итоге теплохимического испытания парогенератора выявилась необходимость ограничения его производительности, то должны быть осуществлены мероприятия, необходимые для устранения этого ограничения, в том числе: а) организация либо усовершенствование устройств ступенчатого испарения и промывки пара; б) усовершенствование внутрибарабанных сепарирующих устройств; в) организация рационального ввода в барабаны пароводяной смеси, равномерного распределения питательной воды по длине барабана и вывода

продувочной воды из парогенератора; г) устранение неорганизованных «химических перекосов» солевого состава котловой воды; снижение урона воды в барабане; уменьшение содержания примесей в питательной и котловой воде.

Приведенные в табл. 5-3 расчетные нормы максимально допустимых солесодержания и кремнесодержания продувочной котловой воды предназначаются для проектных расчетов и служат ориентиром при проведении теплохимических испытаний в пуско-наладочный период. Эти нормы базируются на данных большого числа теплохимических испытаний парогенераторов, а также длительных эксплуатационных наблюдений.

Таблица 5-3

Расчетные нормы максимально допустимого соле- и кремнесодержания продувочной воды парогенераторов с многократной циркуляцией высокого и сверхвысокого давлений

Схема внутрыкотловых устройств	Нормируемый показатель	
	Солесодержание, мг/кг	Кремнесодержание, мг/кг
Без ступенчатого испарения и барботажной промывки пара	600/300	2,0 0,5
Без ступенчатого испарения, но с барботажной промывкой пара	1 000 500	20/5
Двухступенчатое испарение при внутрибарбанных солевых отсеках с барботажной промывкой пара	4 000/2 500	50/15
Трехступенчатое испарение при выносных отсеках III ступени испарения с барботажной промывкой всего пара	6 000/5 000	80 30

Примечание. В числителе указаны солесодержание и кремнесодержание при давлении в барабане 110 кгс/см², в знаменателе — при давлении 155 кгс/см².

При режиме чисто фосфатной щелочности должно выдерживаться соотношение

$$Ш_{\text{общ}} \cdot 40 \leq 0,84 C_{\text{PO}_4} \quad (5-42)$$

где $Ш_{\text{общ}}$ — общая щелочность котловой воды, мг-экв/кг;
 C_{PO_4} — избыток фосфата в котловой воде, мг/кг.

При этом величина рН продувочной воды в парогенераторах без ступенчатого испарения должна быть не

ниже 8,5, а в парогенераторах со ступенчатым испарением в первой ступени испарения не ниже 8,5 и в продувочной воде солевых отсеков не ниже 9,5.

При фосфатно-щелочном режиме для парогенераторов давлением 110 кгс/см² и выше относительная щелочность, т. е. содержание свободного едкого натра, не должна превышать 10% общего содержания котловой воды, включая фосфаты; для парогенераторов давлением ниже 110 кгс/см² допускается поддержание относительной щелочности до 20%. Избыток PO_4^{3-} в котловой воде при обоих режимах фосфатирования должен быть: а) для парогенераторов без ступенчатого испарения не менее 5 мг/кг и не более 15 мг/кг; б) для парогенераторов со ступенчатым испарением в чистом отсеке не менее 5 и не более 10 мкг/кг, а в солевом отсеке не более 75 мг/кг.

При режиме с малым содержанием фосфатов в котловой воде избыток PO_4^{3-} должен быть для парогенераторов без ступенчатого испарения в пределах 1—5 мг/кг, а для парогенераторов со ступенчатым испарением в чистом отсеке 1—5 мг/кг и в солевом отсеке не выше 30 мкг/кг. При бесфосфатном режиме котловой воды значение pH ее должно быть в пределах 7,5—9,0, а жесткость ее не должна превышать 10—20 мкг-экв/кг. Контроль за коррозией в этом случае целесообразно производить по изменению количества водорода в насыщенном паре, которое не должно превышать 2—5 мкг/кг.

5.4. ВОДНОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПРЯМОТОЧНЫХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

Водный режим прямоточных парогенераторов существенно отличается от водного режима парогенераторов с многократной циркуляцией. В то время как в парогенераторах барабанного типа имеется водяной объем, являющийся аккумулятором солей, поступающих с питательной водой, и позволяющий осуществлять продувку котловой воды, в прямоточных парогенераторах котловая вода, понимаемая в обычном смысле как аккумулятор солей, отсутствует, что не дает возможности производить их продувку.

Все примеси, поступающие в прямоточный парогенератор с питательной водой или образующиеся в нем за счет коррозии, образуют отложения на поверхностях нагрева, либо уносятся с паром и образуют отложения в проточной части турбин, либо проходят транзитом через парогенератор и турбину и загрязняют турбинный конденсат. Поэтому прямоточные парогенераторы должны работать на питательной воде с минимальным содержанием всех примесей, которые могут давать отложения в парогенераторе и турбине.

С помощью теплохимических испытаний прамоточных парогенераторов выявляется зависимость показателей качества пара от состава питательной воды и от режимных факторов, характерных для работы парогенераторов данной ТЭС, а также определяется количество отложений, образующихся в пароводяном тракте. В табл. 5-4 приведены нормы качества питательной воды для прамоточных парогенераторов, которые базируются на результатах многочисленных теплохимических испытаний, проведенных в СССР и за рубежом.

Таблица 5-4

Нормы качества питательной воды прамоточных парогенераторов

Нормируемый показатель	Размерность	Для параметров пара	
		температура, °С	давление, МПа
Суммарное содержание всех растворенных солей (в пересчете на натрий) не более	мкг/кг	5	10
Жесткость общая не более	мкг-экв/кг	0,2	0,5
Кремниевая кислота (в пересчете на SiO_2) не более	мкг/кг	10	20
Растворенный кислород не более	мкг/кг	5	10
Свободная углекислота	мкг/кг	1	0
Аммиак и его соединения не более	мкг/кг	1000	1000
Соединения железа (в пересчете на Fe) не более	мкг/кг	5	10
Соединения меди (в пересчете на Cu) не более	мкг/кг	1	2
Масла и нефтепродукты	мкг/кг	Следы	Следы
Избыток гидразина	мкг/кг	30—100	30—100

Для уменьшения медистых отложений в проточной части турбин на энергоблоках с к. д., имеющих элементы оборудования тракта питательной воды, изготовленные из медесодержащих сплавов (трубы п. и. д., конденсаторов, охладителей выпара испарителей), целесообразно поддерживать значение рН питательной воды на уровне 8,5—9,0. На тех энергоблоках с к. д., где трубы регенеративных подогревателей изготовлены из углеродистой либо нержавеющей стали, необходимо повысить значение рН питательной воды в цикле до 9,3—9,4, а при оснащении конденсаторов трубами из нержавеющей

стали — до 9,5—9,7, чтобы содержание окислов железа в питательной воде не достигло опасных значений.

Первоочередными предпосылками, необходимыми для длительного поддержания на энергоблоке с. к. д. заданных норм качества пара и питательной воды, являются отсутствие заметных присосов охлаждающей воды в конденсаторах паровых турбин, а также глубокая очистка загрязненных конденсатов и добавочной питательной воды. Дистиллят испарителей, применяемый для питания прямоточных парогенераторов с. к. д., должен дополнительно подвергаться химическому обессоливанию.

В периоды пуска энергоблоков с. к. д. часто наблюдается замедленное ухудшение водного режима, которое можно избежать при выполнении следующих условий: парогенератор должен заполняться обессоленным конденсатом, наиболее загрязненный сброс с расточного сепаратора должен направляться в дренаж, а менее загрязненный — в бак запасного конденсата либо в конденсатор с последующим его обезжелезиванием и обессоливанием. Необходимо также проводить промывку водо-конденсатного тракта энергоблока вплоть до глубокого снижения содержания окислов железа в воде после каждой остановки и особенно при начальном пуске энергоблока.

5.5. ВОДНОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КОНДЕНСАТОРОВ

Вода, применяемая для охлаждения конденсаторов паровых турбин, должна удовлетворять следующим нормам:

а) содержание активного хлора на выходе из конденсатора должно поддерживаться в охлаждающей воде в пределах 0,5—1,0 мг/кг;

б) содержание медного купороса в охлаждающей воде в замкнутых системах не должно превышать 0,1—0,3 мг/кг;

в) содержание медного купороса в продувочной воде, сбрасываемой в водоемы общего пользования, не должно превышать норм Госрыбнадзора и Госсанинспекции;

г) содержание фосфатов в охлаждающей воде в пересчете на PO_4^{3-} при фосфатировании ее должно поддерживаться в пределах 1—2 мг/кг;

д) при снижении карбонатной жесткости добавочной воды серной кислотой в обработанной воде должен поддерживаться щелочной буфер в пределах 0,5—1,0 мг-экв/кг.

5-6. ВОДНОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В целях предотвращения коррозии, в также отложений накипи и шлама в подогревателях, магистральных теплофикационных трубопроводах и отопительных системах абонентов качество воды для подпитки тепловых сетей должно удовлетворять следующим нормам:

Карбонатная жесткость	Не более 700 мкг-экв/кг
Растворенный кислород	Не более 50 мкг/кг
Свободная углекислота	Отсутствует
Содержание взвешенных веществ	Не более 5 мг/кг

Качество подпиточной воды для тепловых сетей с открытым водоразбором должно удовлетворять требованиям ГОСТ «Вода питьевая».

В открытых системах горячего водоснабжения не разрешается использовать продувочную воду, которая при смешивании с остальной частью сетевой воды образует шлам. Если для подпитки закрытой теплосети используется вода с карбонатной жесткостью, не превышающей 300 мкг-экв/кг, то в эту воду можно добавлять продувочную в ту парогенераторов и отмывочные воды анионитных фильтров.

5-7. ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВОДИМЫХ НА ТЭС ВОДНОХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

Проверка эффективности проводимого на ТЭС воднохимического режима производится на основании данных текущего химического контроля качества питательной и котловой воды и пара, а также путем периодического контроля за состоянием внутренней поверхности барабанов, труб (парогенераторов, конденсаторов и теплообменников) и проточной части турбин. Контроль за динамикой загрязнения внутренних поверхностей парогенераторов накипью шламовыми отложениями необходим для:

- установления продолжительности рабочей кампании парогенератора между очередными химическими очистками его;
- определения эффективности проводимого коррекционного фосфатного режима котловой воды и установления сроков необходимой очистки парогенераторов от накипи;
- определения толщины накипи и состояния

защитной окисной пленки на внутренних поверхностях труб; г) проверки эффективности механических и кислотных очисток парогенератора.

При каждой остановке парогенератора на капитальный ремонт производится выборочное шарошение контрольных труб различных поверхностей нагрева парогенератора. Отложения, отделившиеся при выборочной очистке или обстучивании отдельных труб, тщательно собираются и взвешиваются. Отнеся количество собранной накипи в граммах к внутренней площади трубы в квадратных метрах, получают удельную загрязненность трубы отложениями ($г/м^2$). Собранные отложения подвергаются химическому и фазовому анализу. Описанный метод, однако, не дает представления о распределении отложений по длине трубы. Более надежным является измерение толщины накипно-солевых отложений с помощью индикатора, снабженного электрическим сигнализатором контакта иглы индикатора с металлической стенкой.

Для определения местоположения и толщины отложений в паропроизводящих трубах в местах, недоступных визуальному осмотру, применяются разнообразные типы и конструкции приборов, используемых для дистанционного обнаруживания этих отложений. С их помощью эксплуатационный персонал имеет возможность за короткий период остановки котла проверить состояние внутренних поверхностей большого количества паропроизводящих труб и выявить местоположение опасных участков.

Дистанционные индикаторы отложений используют методы радиографии с гамма-просвечиванием, а также ультразвуковую либо магнитную дефектоскопию, которая базируется на принципе изменения напряженности магнитного потока в магнитной цепи между полюсным наконечником зонда прибора и металлом исследуемой трубы. Об отложениях в проточной части паровых турбин можно судить также по приросту давления на упорный подшипник турбины и увеличению давления пара в контрольной ступени турбины. Наиболее полное представление о заосе проточной части дает осмотр вскрытой турбины. Обнаруженные при этом осмолре образцы отложений подлежат химическому, рентгенографическому и кристаллооптическому анализу.

Наблюдение за протеканием коррозии энергетического оборудования паротурбинных электростанций должно проводиться регулярно и по унифицированным методам, обеспечивающим возможность обобщения наблюдений, проводимых на различных электростанциях. С этой целью ввариваются контрольные участки труб и устанавливаются специальные индикаторы коррозии, подвергвемые длительному воздействию рабочей среды.

Интенсивность равномерной и частично язвенной коррозии трубопроводов питательной и химически обработанной воды, конденсаторов, коллекторов водяных экономайзеров и регенеративных подогревателей может быть с известной степенью условности выявлена с помощью индикатора, представляющего собой набор тщательно отполированных и обезжиренных дисков, изготовленных из того же металла, что и оборудование исследуемого участка тракта питательной воды. Индикатор устанавливается во время капитального ремонта в труб проходе питательной воды или во входном коллекторе водяного экономайзера на срок 6—12 месяцев. Во время следующего капитального ремонта индикатор извлекается, высушивается и взвешивается, после чего диски тщательно очищаются от продуктов коррозии и снова взвешиваются. Потеря в весе переводится в годовую скорость равномерной коррозии металла. Глубина язвы в зависимости от размеров контрольных пластин измеряется стационарными либо переносными глубиномерами.

Наличие межкристаллитных трещин в котельном металле может быть обнаружено при помощи магнитной и ультразвуковой дефектоскопии, гамма- и рентгенокопии металла закладочных швов и вальцовочных соединений, что позволяет выявить необходимость ремонта парогенераторов или возможность дальнейшей их работы.

5-8. ХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА ВОДОПОДГОТОВКОЙ И ВОДНЫМ РЕЖИМОМ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

а) Задачи химконтроля

Задачей химического контроля за водоподготовкой и водным режимом на ТЭС является своевременное выявление отклонений основных показателей качества воды и пара от установленных эксплуатационных норм вследствие дефектов в работе водоподготовительного оборудования и нарушения водного режима. Выявленные нарушения норм, а также дефекты оборудования и режимов его работы должны устраняться в кратчайший срок.

Химический контроль на тепловых электростанциях осуществляется химическим цехом, в ведении которого находится воднохимическая лаборатория и ее отделения в цехах — экспресс-лаборатории.

Воднохимическая лаборатория выполняет теплохимические испытания парогенераторов и турбин, наладочные работы, вытекающие из требований эксплуатации, а также производит полные анализы вод и отложений. На основе указанных работ должна быть произведена оценка эффективности и экономичности про-

водимого на ТЭС воднохимического режима, и на ее основе разрабатываются практические мероприятия по усовершенствованию водного режима и работы водоподготовительных установок.

Экспресс-лаборатории выполняют круглосуточный текущий оперативный химический контроль, позволяющий определить, соответствуют ли показатели качества воды в каждый данный момент на том или ином участке пароводяного тракта установленным нормам.

Объем контроля за водоподготовительной установкой и водным режимом зависит от схемы подготовки воды, а также от типа парогенераторов и турбин. С увеличением паропроизводительности парогенератора, давления пара и тепловых напряжений поверхности нагрева повышается опасность коррозии, накипеобразования и закоса турбин, в связи с чем растут и требования, предъявляемые к воднохимическому режиму и контролю за ним. Поэтому применяемые на энергоблоках с. к. д. методы анализа воды и пара должны отличаться высокой чувствительностью, точностью и быстротой.

Кроме текущего эксплуатационного химического контроля за водой и паром на различных участках пароводяного тракта и на разных стадиях водоподготовки, персонал хичцеха ТЭС осуществляет химический контроль во время пуска, наладки и испытания водоподготовительного и паросилового оборудования; контроль за качеством сточных вод водоподготовительных установок и золовых отвалов и за работой сооружений по очистке сточных вод, а также химический контроль при консервации находящихся в резерве агрегатов и при проведении водных или воднохимических промывок парогенераторов, турбин и тракта питательной воды. В обязанности персонала химических цехов ТЭС входят также внутренние осмотры барабанов, коллекторов, сухопарников и устьев труб парогенераторов, теплообменных аппаратов, конденсаторов, подогревателей и лопаточного аппарата турбин для определения мест расположения, количества, свойств и состава отложений, глубины, размеров и характера коррозионных повреждений металла.

Все эти виды контроля, дополняя друг друга, позволяют в совокупности осуществлять надежный водный режим тепловых электростанций.

6) Отбор проб воды и пара

Основным условием правильной организации химического контроля за водоподготовкой и водным режимом является отбор представительной пробы воды или конденсата пара. При значительном отклонении состава пробы от состава контролируемой воды может быть допущена неправильная оценка проводимого воднохимического режима.

Отбор представительной пробы из однородной среды, какой являются перегретый пар, конденсат, питательная и химически очищенная вода, не представляет затруднений, так как различные способы отбора дают вполне

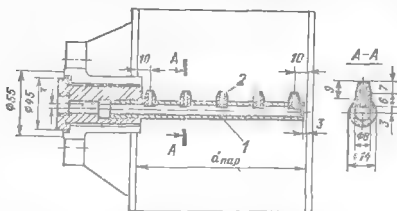


Рис. 5-11. Пятисосковая паротворная трубка.

1 — трубка, 2 — сосны.

представительные пробы, отражающие качество той среды, из которой они отобраны. Отбор пробы питательной воды производится непосредственно перед экономайзером с помощью трубок, вваренных заподлицо по нижней образующей трубопроводов. Для получения представительных проб перегретого пара применяются сосковые (рис. 5-11) или щелевые (рис. 5-12) пробоотборные трубки, вставленные в паропроводы.

Отбор проб продувочной воды производится из линии непрерывной продувки возможно ближе к выводу продувки из барабана или выносного циклона и по возможности до первого запорного вентиля на этой линии без каких-либо специальных заборных устройств, если не предполагается определять взвешенные вещества. Отбор проб котловой воды чистых отсеков производится при помощи расположенного вдоль барабана дырчатого кол-

лктора с дырчатыми или щелевыми насадками (рис. 5-13).

Отбор представительной средней пробы насыщенного пара затруднен ввиду того, что унесенная паром из барабана котловая вода при малой скорости пара может двигаться по стенкам трубопровода в виде плен-

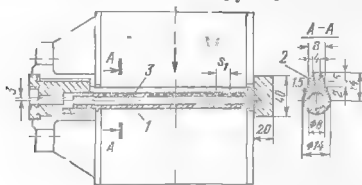


Рис. 5-12 Щелевая пароотборная трубка.

1 — трубка, 2 — насадка, 3 — отверстие.

ки, не смешанной с основным потоком пара; пленка эта имеет солесодержание, близкое к солесодержанию котловой воды. При повышении скорости пара до некоторой скорости, которую называют «критической скоростью срыва пленки», пленка влаги начинает срываться, дробиться и уноситься потоком пара в виде мелких капель, равномерно распределенных по сечению

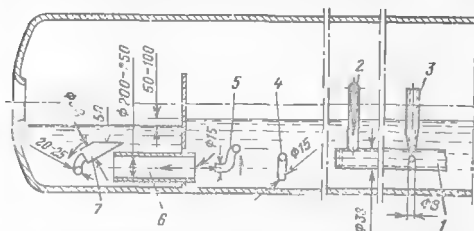


Рис. 5-13. Устройства для отбора проб котловой воды из барабана.

1 — диаметр для отбора проб котловой воды из средней части чистого отсека; 2 — насадка щелевая на коллекторе; 3 — насадка дырчатая на коллекторе; 4 — трубка для отбора проб из чистого отсека; 5 — отбор проб воды перед водоперепускными трубами (улавливание переброса); 6 — водоперепускная трубка; 7 — наконечник для забора продувочной воды солевого отсека.

паропровода. Поэтому отбор пробы насыщенного пара из паропровода целесообразно производить однососковой пароотборной трубкой, расположенной после смесителя — трубы Вентури (рис. 5-14), которая обеспечивает срыв пленки со стенки паропровода и равномерное распределение сорванной влаги в паровом потоке при незначительной потере давления последнего. При давлении 40—140 кгс/см² критическая скорость пара по срыву пленки составляет 2—4 м/сек. Для полного срыва пленки необходимо, чтобы скорость пара в суженной горловине диффузора смесителя была в 5—7 раз больше кри-

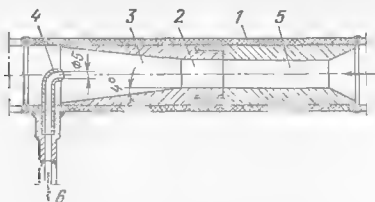


Рис. 5-14. Однососковая трубка со смесителем для отбора проб насыщенного пара.

1 — корпус смесителя, 2 — камера смешения, 3 — камера выравнивания скоростей и окончательного смешения, 4 — паропроводящая трубка, 5 — поток насыщенного пара, 6 — проба насыщенного пара

тической. Если отбираемая проба имеет высокую температуру (выше 40 °C), ее предварительно пропускают через холодильник.

В целях повышения оперативности химического контроля водного режима и снижения численности персонала тепловой электростанции применяется централизованный отбор проб со сведением их на щит. На этом же щите размещаются регистраторы приборов химического контроля, расходомеры водоподготовительной установки, регистрирующие манометры деаэраторов, сигнализаторы наивысшего и наименьшего уровней в баках-аккумуляторах деаэрированной воды, а также дистанционное управление регулирующей арматурой. Обычно щит централизованного отбора проб помещается в котельной.

Во избежание загрязнения проб пара и воды окислами железа на современных электростанциях высокого

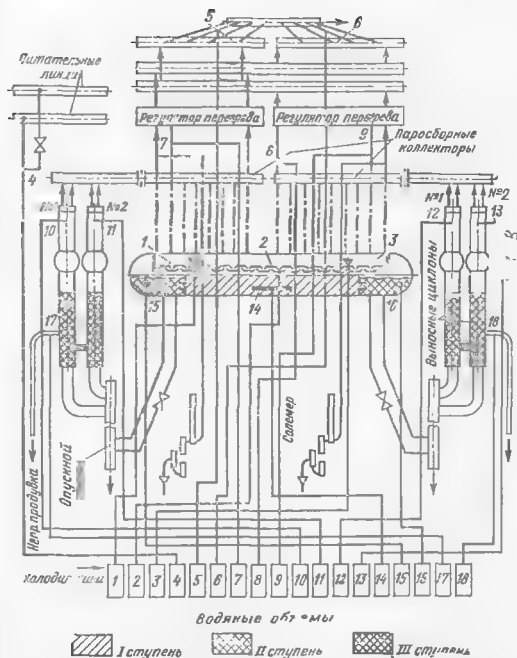


Рис 5-15 Схема контроля воднохимического режима парогенератора ТП 230 с трехступенчатым испарением и барботажной промывкой пара.

1, 2 и 3 — промывочная вода левая, средняя и правая; 4 — питательная вода; 6 и 6 — перегретый пар левый и правый; 7, 8 и 9 — насыщенный пар левый, средний и правый; 10 и 11 — насыщенный пар из левых циклонов № 1 и 2; 12 и 13 — насыщенный пар из правых циклонов № 1 и 2; 14 — котловая вода I ступени испарения; 15 и 16 — котловая вода левой и правой II ступени испарения; 17 и 18 — котловая вода левой и правой III ступени испарения.

Примечание. Точки 2, 4, 7, 8, 9, 14, 17, 18 — эксплуатационные; точки 1, 3, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 15 и 16 — экспериментальные на период испытаний.

контроля водного режима паротурбинной электростанции с указанием мест отбора проб воды и пара и назначения точек отбора.

В объем химического контроля водоподготовки и водного режима на ТЭС входит определение важнейших показателей качества воды и пара, количества присутствующих в них загрязнений и специально введенных, полезных в определенных пределах примесей.

в) Приборы для химического контроля качества пара и воды

Концентрация примесей в паре и конденсате весьма мала. Так как чувствительность лабораторных методов анализа в ряде случаев оказывается недостаточной, применяются различные способы обогащения проб. Одним из них является применение соленаккумуляторов, с помощью которых можно получить обогащенную пробу насыщенного или перегретого пара, а также конденсата турбин и питательной воды. Работа соленаккумуляторов основана на многократном запаривании проб пара и конденсата. Для химического анализа применимы обычные методы анализа, так как концентрация растворенных веществ в обогащенной пробе значительно больше, чем в исходной пробе.

При термическом концентрировании проб конденсата пара приходится выпаривать значительные его количества, порядка нескольких десятков литров. Химическое концентрирование ионов лишено этого недостатка. Для осуществления химического концентрирования ионов конденсат пара в количестве 120—150 л при температуре до 30 °C пропускается со скоростью 15—20 м/ч последовательно через два лабораторных фильтра, из которых первый загружен катионитом, поглощающим катионы, второй — анионитом, поглощающим анионы. После пропуска конденсата, на что обычно требуется 12—24 ч, поглощенные ионы вытесняются путем промывания первого фильтра небольшим объемом (1—2 л) соляной кислоты, второго фильтра — таким же количеством едкого натра и последующей отмывки дистиллированной водой. Регенерат и отмывочные воды собираются, и химическим анализом определяется в них концентрация катионов и анионов. Сумма концентраций катионов и анионов дает содержание пара.

Существенным недостатком метода химического концентрирования ионов является непригодность его для оперативного контроля вследствие длительности и трудоемкости определения. Так как качество пара может изменяться в процессе работы парогенератора, анализ периодически отбираемых проб пара не может дать истинного представления о его качестве. В промежутки времени между очередными отборами проб качество пара может резко ухудшиться, что может пройти незамеченным. Поэтому на паротурбинных электростанциях наряду с периодическим контролем применяется непрерывный контроль содержания с помощью регистрирующих солемеров.

Электрические солемеры получили широкое применение на паротурбинных электростанциях для эксплуатационного кон-

троля соледержания пара, конденсата, химически обессоленной, питательной и котловой воды

Как известно, химически чистая вода характеризуется высоким сопротивлением для прохождения электрического тока. С повышением концентрации веществ, растворенных в воде, электрическое сопротивление ее уменьшается, а электропроводность увеличивается. На этой зависимости и основан принцип работы электрических солемеров. Определение соледержания с применением электрического солемера производится по показаниям гальванометра с помощью предварительно построенной градуировочной кривой. Метод электропроводности для контроля качества пара является быстрым, точным и пригодным для регистрации на приборе. Основным недостатком этого метода является увеличение электропроводности пробы конденсата пара за счет присутствующих в пробе газов CO_2 и NH_3 , которые при конденсации проб растворяются, образуя угольную кислоту и гидроксид аммония, продукты электролитической диссоциации которых увеличивают электропроводность конденсата пара, завышая значение соледержания в нем. Для того чтобы устранить это искажение, применяются солемеры, в которых сочетается предварительная дегазация пробы с ее упариванием в солсконденсаторе. При упаривании пробы ее соледержание повышается в несколько раз по сравнению с действительным соледержанием, в результате чего резко уменьшается влияние аммиака и угольной кислоты на точность показаний солемера.

Солемеры с дегазацией и обогащением позволяют непрерывно контролировать соледержание питательных вод и конденсатов в интервале от 0 до 200 мг/кг . Наличие этих солемеров повышает оперативность управления водным режимом ТЭС, а комбинация двух подобных солемеров позволяет организовать весьма точный контроль за гидравлической плотностью конденсаторов турбин.

На рис. 5.17 изображена схема солемера ЦКТИ для контроля качества перегретого пара. Перед десятиступенчатым дросселем имеется частичное охлаждение пробы. Это облегчает работу дроссельной установки и предотвращает выпадение солей на ее первых ступенях. Предварительное охлаждение пара производится в испарителе, пар которого используется для обогрева и испарения конденсата.

Пламенные фотометры предназначены для количественного определения концентрации натрия, калия, кальция, лития, стронция и некоторых других элементов в растворах методом спектрофотометрии пламени, в котором распыляется исследуемый раствор.

Концентрацию искомого элемента можно определить, пользуясь калибровочным графиком, выражающим зависимость между показаниями микроамперметра в делениях шкалы и концентрацией этого элемента в стандартных растворах.

Пламенные фотометры позволяют быстро и достаточно точно определять концентрацию натрия в растворах независимо от сопутствующих ему примесей. Благодаря этому они являются наиболее пригодными для проведения оперативного контроля качества пара и конденсата.

На паротурбинных электростанциях применяются автоматические регистрирующие рН-метры. С их помощью можно осуществлять регулирование процесса аминирования питательной воды дозиро-

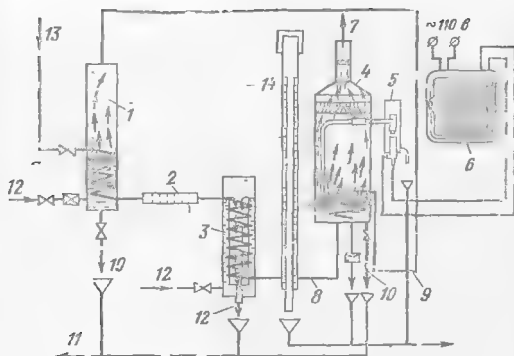


Рис 5 17 Принципиальная схема солемера ЦКТИ для перегретого пара.

1 — испаритель 2 — десятиступенчатый дроссель, 3 — охладитель 4 — солено-концентратор 5 — трансформатор 6 — собирающий прибор 7 — в конденсатный бак 8 — подвод конденсата пробы перегретого пара 9 — подвод греющего пара, 10 — продувка, 11 — дренаж 12 — охлаждающая вода, 13 — вход пробы пара, 14 — гидрозапор (перетив).

вание реагентов на водоподготовительных установках, работающих по методу осаждения и т. д.

Для измерения величины pH используется система со стеклянными и вспомогательными электродами. Измеряя ЭД с электродной системы с помощью электронного милливольтметра, шкала которого градуирована в единицах pH, можно определить величину pH контролируемого раствора.

Регистрирующие кислородомеры применяются для осуществления экспансионного контроля за остаточным содержанием кислорода в термически деаэрированной питательной воде.

На ТЭС с давлением выше 70 кгс/см^2 для контроля интенсивности коррозионных процессов в пароводяном тракте и парогенераторах применяются автоматические водородомеры.

Кроме перечисленных приборов автоматического контроля качества воды, пара и конденсата, на ТЭС применяются автоматические жесткостемеры, лабораторные фотоэлектроколориметры для определения концентрации кремниевой кислоты и железа, фотоэлектрические титраторы для определения концентрации различных веществ методом автоматического титрования, нефтомеры для определения концентрации нерастворимых в воде примесей и другие приборы.

УДАЛЕНИЕ КОРРОЗИОННОАГРЕССИВНЫХ ГАЗОВ ИЗ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

6-1. ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕАЭРАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

а) Теоретические основы термической деаэрации

Удаление растворенных коррозионноагрессивных газов O_2 , CO_2 и NH_3 из питательной воды парогенераторов, испарителей, паропреобразователей и из подпиточной воды тепловых сетей осуществляется путем термической деаэрации, химической дегазации и декарбонизации.

Термическая деаэрация воды основана на законе распределения вещества между фазами и является частным случаем его приложения, согласно которому растворимость газа в воде с учетом его парциального давления в пространстве над водой характеризуется следующей зависимостью:

$$G = K_p p_1 = K_p (p - p_v), \quad (6-1)$$

где G — растворимость газа в воде, $мг/кг$ или $г/т$; K_p — коэффициент растворимости газа, зависящий от температуры воды, $мг/(кг \cdot мм рт. ст.)$ или $г/(т \cdot мм рт. ст.)$; p — суммарное давление газа и водяных паров в пространстве над водой, $мм рт. ст.$; p_v — парциальное давление водяных паров в том же пространстве, $мм рт. ст.$; p_g — парциальное давление газа в том же пространстве, $мм рт. ст.$

Как видно из выражения (6-1), растворимость газа в воде равна нулю, когда $p_v = p$, что имеет место при кипении воды. Численное значение давления в пространстве над водой практически не влияет на эффект деаэрации. Поэтому термическую деаэрацию можно осуществить при давлении как выше, так и ниже атмосферного, если температура воды равна температуре кипения при данном давлении. Таким образом, казалось бы, достаточно подогреть воду до температуры кипения при данном давлении, чтобы удалить из нее растворенные газы. Однако доведение неподвижной воды до состояния кипения еще не обеспечивает полного удаления из нее растворенных газов даже в том случае, когда парциальное давление их над водой равно нулю. Это объясняется

тем, что выражение (6-1) не учитывает кинетики процесса деаэрации воды. Процесс термической деаэрации является сочетанием параллельно протекающих и сопряженных процессов нагрева деаэрируемой воды до температуры кипения, диффузии растворенных в воде газов и десорбции их, причем роль последнего процесса является при этом определяющей.

В целях улучшения условий выделения газов из воды необходимо максимально приблизить все частицы потока деаэрируемой воды к поверхности раздела фаз, с тем чтобы растворенные газы могли быстро переходить из воды в паровую фазу. Чем больше поверхность раздела вода — пар, через которую происходит десорбция газов, тем быстрее система приближается к равновесию, т. е. тем полнее из воды удаляются растворенные газы. Это достигается усилением турбулентности потока воды путем ее распыливания, разбрызгивания или сливания через мелкие отверстия и перегородки для разделения ее на мелкие капли, тонкие струйки или пленки, что значительно увеличивает поверхность воды и облегчает удаление из нее газов. Увеличение поверхности соприкосновения воды с паром может быть достигнуто также путем барботирования через воду греющего пара, подаваемого под давлением через сопло или другие устройства. С ростом скорости греющего пара увеличивается динамическое воздействие парового потока на деаэрируемую воду, что способствует повышению эффективности термической деаэрации. С увеличением средней температуры деаэрируемой воды или температуры исходной воды снижаются вязкость и поверхностное натяжение воды и увеличивается коэффициент диффузии кислорода в ней, вследствие чего повышается значение коэффициента десорбции (массопередачи) и в конечном итоге уменьшается остаточное содержание кислорода в деаэрированной воде.

Количество удаляемого газа может быть определено из уравнения

$$B = K_m \Delta p F, \quad (6-2)$$

где B — количество удаляемого газа, кг/ч; K_m — коэффициент массопередачи, кг/м² · ч · мм рт. ст.; Δp — логарифмическая разность равновесного парциального давления газа в деаэрируемой воде и парциального давления этого же газа в греющем паре, мм рт. ст.; F — суммарная поверхность раздела между водой и паром, м².

Если учитывать, что

$$B = D(C_n - C_k), \quad (6-3)$$

где D — расход деаэрируемой воды, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 C_n и C_k — начальная и конечная концентрации растворенного в воде газа, $\text{кг}/\text{м}^3$,

$$F = \frac{D(C_n - C_k)}{K_m \Delta p}; \quad (6-4)$$

$$F = \frac{D}{K_m} \frac{(C_n - C_k) \ln \frac{p_n - p_2}{p_k - p_1}}{(p_n - p_2) - (p_k - p_1)}, \quad (6-5)$$

где p_n и p_k — начальное и конечное равновесные парциальные давления газа в воде, $\text{кгс}/\text{см}^2$; p_1 и p_2 — начальное и конечное парциальные давления газа в парогазовой смеси, $\text{кгс}/\text{см}^2$.

Наиболее трудно удалить из воды аммиак, растворимость которого при температуре 100°C примерно в 3000 раз выше растворимости кислорода и в 150 раз выше растворимости углекислоты. Как показали испытания, степень удаления из воды аммиака путем термической деаэрации не превышает 8—10%. При совместном присутствии в деаэрируемой воде углекислоты и аммиака они образуют слаболетучий углекислый аммоний, что еще более ухудшает эффективность термической деаэрации.

Эффективность удаления из воды свободной углекислоты значительно ниже, чем эффективность удаления кислорода, особенно при наличии свободной углекислоты в греющем паре. Термическое разложение бикарбоната натрия начинается лишь после того, как из воды практически полностью удалена вся свободная углекислота. Для того чтобы обеспечить нормальное протекание процесса термического разложения бикарбоната натрия, необходимо отводить из воды выделяющуюся при этом углекислоту. Интенсивность удаления ее в свою очередь зависит от скорости ее десорбции, которая в конечном счете и определяет продолжительность процесса разложения бикарбоната натрия.

Аппараты, предназначенные для термической деаэрации, называются термическими деаэраторами

б) Типы и конструкции термических деаэраторов

Термические деаэраторы питательной воды для парогенераторов электростанции в соответствии с ГОСТ 16860 71 условно делятся на следующие типы:

а) вакуумные — ДСВ, работающие при давлении до $0,3 \text{ кгс/см}^2$;

б) атмосферные — ДСА, работающие при давлении $1,2 \text{ кгс/см}^2$;

в) повышенного давления — ДСП, работающие при давлении от 6 до 8 кгс/см^2 .

Согласно указанию ГОСТ при изменении производительности от 30 до 120% номинальной все деаэраторы должны обеспечить средний подогрев воды от 10 до 40°C и остаточное содержание кислорода: в деаэраторах ДСВ — 50 мкг/кг , в деаэраторах ДСА и ДСП — 30 мкг/кг для парогенераторов с давлением до 40 кгс/см^2 и 20 мкг/кг для парогенераторов с давлением от 40 до 110 кгс/см^2 , в деаэраторах ДСП — 10 мкг/кг для парогенераторов с давлением выше 110 кгс/см^2 . Свободная углекислота при этом должна быть практически полностью удалена из воды.

Конструкции термических деаэраторов должны удовлетворять следующим требованиям: а) обеспечить надежный нагрев воды до температуры кипения, соответствующей давлению в деаэраторе; б) тонкое разбрызгивание воды с целью создания максимальной поверхности для выделения газов; в) достаточное время пребывания воды в деаэраторе, необходимое для выделения газов и разложения бикарбоната натрия; г) хорошее удаление из деаэратора выделившихся из воды газов; д) точное регулирование подвода греющего пара для поддержания температуры кипения воды и вентиляции деаэратора. На всем пути между паром и водой в деаэраторе должны обеспечиваться четко выраженный противоток и максимальная разность между равновесным давлением газа в воде и его парциальным давлением над водой. В деаэраторе не должно быть застойных зон ни по воде, ни по пару.

Вакуумные деаэраторы применяются для деаэрации подпиточной воды тепловых сетей и сетей горячего водоснабжения, а также питательной воды парогенераторов низкого давления и малой мощности. Вакуумная деаэрация питательной воды парогенераторов применя-

ется в тех случаях, когда питательные насосы не могут работать на высококипящей воде, либо там, где для деаэрации используется отбор пара из турбины при давлении ниже атмосферного. Удаление неконденсирующихся газов из вакуумных деаэраторов осуществляется с помощью паровых эжекторов. Необходимым условием глубокой деаэрации в вакуумных деаэраторах является

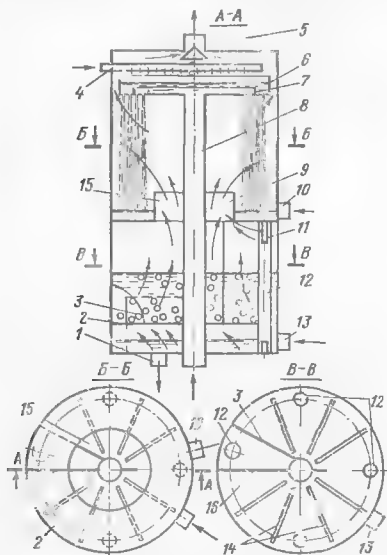


Рис 6-1. Струйно барботажная вакуумная деаэрационная колонка вертикального типа.

1 — отвод деаэрированной воды; 2 — барботажный лист; 3 — водосливный порог; 4 — подвод химически умягченной воды после охладителя выпара; 5 — отвод паровоздушной смеси; 6 — верхняя тарелка; 7 — кольцевой порог; 8 — подвод химически умягченной воды; 9 — водосливный порог; 10 — подвод конденсата; 11 — вращающиеся сурети; 12 — проверочные трубы; 13 — подвод пара; 14 — щели или отверстия из барботажных листов; 15 — отверстие для перепуска воды; 16 — вертикальная перегородка.

хорошая воздушная плотность их. Это достигается при расположении деаэрационной колонки: на высоте, обеспечивающей поступление деаэрированной воды самотеком к питательным насосам. В этом случае вся арматура располагается ниже наивысшего уровня воды в баке-аккумуляторе, который устанавливается отдельно от колонки. Выше этого уровня все элементы установки изготовляются цельносварными.

Вакуумная деаэрационная колонка для производительности 300 т/ч (рис. 6-1) имеет две ступени дегазации: струйную и барботажную. Вода, направляемая на деаэрацию по трубе 8, поступает на верхнюю тарелку 6. Последняя секционирована так, что при минимальной (30%) нагрузке работает только часть отверстий во внутреннем секторе. При увеличении нагрузки вода перетекает через кольцевой порог 7 и далее вытекает через сопла в виде тонких струй. Секционирование верхней тарелки не позволяет избежать гидравлических перекосов по пару и воде при колебаниях нагрузки и во всех случаях обеспечивает обработку струй. Тем самым. Пройдя струйную часть, вода поступает на перепускную тарелку 9, предназначенную для сбора и перепуска воды через отверстие 15 на определенный участок расположенного ниже барботажного листа 2. Отверстие 15 на перепускной тарелке примыкает к вертикальной силовой перегородке 16, идущей вниз до основания корпуса колонки. Барботажный лист выполнен в виде кольца с радиально расположенными щелями 14, ориентированными перпендикулярно потоку воды. В конце барботажного листа имеется горизонтальный порог 3, который проходит до нижнего основания деаэратора. Вода протекает по барботажному листу, переливается через порог и поступает в сектор, образуемый порогом 3 и перегородкой 16, а затем совместно отводится в трубу 1. Весь пар в колонку подводится под барботажный лист по трубе 13. Под листом образуется паровая подушка, и пар, пройдя щели 14, барботирует через воду.

При увеличении нагрузки, а следовательно, и расхода пара паровая подушка увеличивается и избыточный пар перепускается в сбвод барботажного листа через отверстия 11 в трубах 12. Затем пар проходит через кольцевое отверстие в перепускной тарелке и поступает в струйный отсек, где большая часть его конденсируется. Пароводяная смесь отсасывается по трубе 5. Под действием химически умягченной воды после сжигания пара осуществляется через коллектор 4 на верхнюю тарелку 6. При необходимости подачи в деаэратор конденсата его следует вводить через штуцер 10 на перепускную тарелку 9.

При давлении 0,3 кгс/см² остаточное содержание кислорода в деаэрированной воде составляет менее 30 мкг/кг, свободная углекислота удаляется полностью и имеет место незначительное (до 6,5%) разложение бикарбонатов.

ЦКТИ разработаны вакуумные деаэраторы для производительности воды тепловых сетей производительностью 400, 800, 1200, 1600 и 2000 т/ч. Деаэратор представляет собой цилиндр диаметром 3 м, в котором размещены все деаэрирующие элементы и охладитель выпара смешивающего типа. Химически умягченная вода поступает в деаэратор (рис. 6-2) по трубе 1 и попадает в распределительный

В деаэраоре выделен отсек 5, куда по трубе 3 подается деаэрированная вода с температурой 70—150 °С. При входе в отсек эта вода вскипает, а жалюзи 4 способствуют разделению воды и

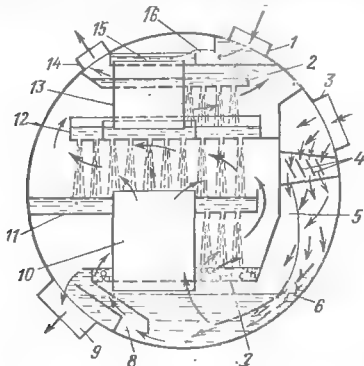


Рис 62 Вакуумный струйно-бурбательный дезератор горизонтального типа

пар. Выделившийся пар поступает под барботажный лист 7, а вода по каналам 6 и 8 вытесняется на уровень барботажного листа и вместе с дезаэрированной исходной водой отводится из деаэратора. Проходя через щели барботажного листа, пар подвергает воду интенсивной сработке. Под листом при этом образуется паровая подушка. Когда высота ее превысит 200 мм, включаются в работу короба 10, по которым пар перепускается в струйный отсек между третьей и четвертой тарелками. В этом отсеке происходит основной подогрев воды до температуры, близкой к температуре кипения. Из третьего отсека пар поступает во второй отсек, где практически полностью конденсируется. В первом отсеке происходит охлаждение паровоздушной смеси, и к эжектору поступают охлажденные реконденсировавшиеся газы по трубе 14. При использовании описанной

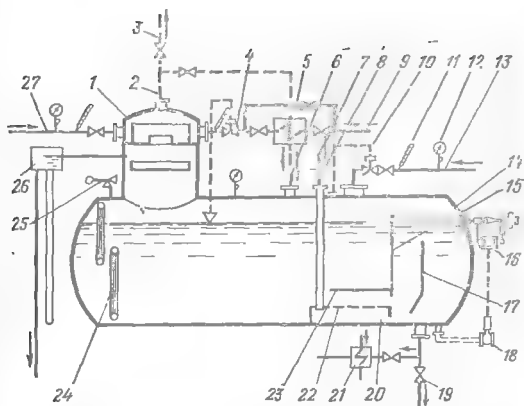


Рис. 6-3 Принципиальная схема двухступенчатой деаэрационной установки.

1 — струйная колонка; 2 — отвод пара, 3 — выпуск в атмосферу, 4 — регулятор температуры; 5 — охладитель пара, 6 — подвод конденсата подогретого гревателями высокого давления, 7 — подвод барботажного пара, 8 — ограничительная диафрагма 9 — подвод химически умягченной воды 10 — регулятор давления, 11 — термометр, 12 — манометр 13 — подвод греющего пара, 14 — бак-аккумулятор, 15 — вертикальная перегородка; 16 — регулятор перелива и сигнализатор уровня 17 — затопленная вертикальная перегородка 18 — вентиль с электромагнитным приводом 19 — ствод деаэрированной воды, 20 — паровая коробка, 21 — теплообменник для охлаждения проб воды, 22 — барботажный дырчатый лист, 23 — горизонтальная перегородка; 24 — водоуказательные стекла, 25 — предохранительный клапан, 26 — гидравлический затвор, 27 — подвод основного конденсата.

конструкции для деаэрации питательной воды парогенераторов рекомендуется в отсек 5 подавать конденсат, возвращаемый внешними потребителями пара, а при его отсутствии — пар деаэраторов повышенного давления или пар с давлением 12—2,5 кгс/см² из расчета 15—20 кг на тонну деаэрированной воды.

Принципиальная схема двухступенчатой деаэрационной установки атмосферного и повышенного давлений приведена на рис. 6-3. Она включает струйную колонку 1, расположенную у одного торца бака-аккумулятора 14, и затопленное барботажное устройство 22, расположенное у противоположного торца бака.

Конденсат и химически умягченная вода, поступающие на деаэрацию, подаются на верхнюю тарелку ко-

лонки, где смешиваются, а затем в струйном потоке сливаются на вторую дырчатую тарелку и далее в бак-аккумулятор. После выдержки в баке вода поступает в барботажное устройство. Пар подводится по трубе 7 в паровую коробку 20 и через отверстия дырчатого листа 22 барботирует через слой воды, медленно движущийся над листом в сторону всасывающего патрубка питательного насоса. Листы 15 и 17 образуют подъемную шахту, в которой происходит вскипание воды, выходящей из барботажного устройства. Вскипание воды происходит вследствие наличия некоторого перегрева ее относительно температуры насыщения, соответствующей давлению в паровом пространстве бака-аккумулятора. Величина перегрева определяется высотой столба воды над барботажным листом. Пар, прошедший через барботажное устройство, попадает в паровое пространство бака, где движется над поверхностью воды в сторону колонки. При таком расположении барботажного устройства и колонки обеспечиваются хорошая вентиляция парового объема бака и удаление из него газов, выделившихся из воды.

К двухступенчатому деаэратору предусматриваются два подвода пара: в паровое пространство бака и на барботажное устройство. К затопленному барботажному устройству необходимо подводить пар при давлении не менее чем $0,4 \text{ кгс/см}^2$ выше рабочего давления в аппарате. *Величина удельного расхода пара на барботаж для деаэраторов атмосферного давления составляет 20 кг на 1 т деаэрируемой воды, а для деаэраторов повышенного давления — 12 кг/т.*

При указанных удельных расходах пара на барботаж двухступенчатые деаэраторы обеспечивают в широком диапазоне изменения нагрузок и подогрева воды остаточное содержание кислорода после атмосферных деаэраторов 15 мкг/кг при норме 30 мкг/кг и после деаэраторов повышенного давления 5 мкг/кг при норме 10 мкг/кг ; при этих условиях они обеспечивают также полное удаление свободной углекислоты и определенное разложение бикарбонатов.

Областью применения двухступенчатых деаэраторов являются теплоэлектроцентрали, работающие с большими потерями конденсата и значительными перепадами во времени добавками в цикл воды, умягченной по методу H—Na-катионирования.

На блочных ТЭС с докритическим и сверхкритическим давлением пара и крупных промышленных ТЭЦ, применяющих методы глубокого химического обессоливания добавочной питательной воды, возникает вопрос о разложении бикарбонатов и удалении «связанной» углекислоты, а применение деаэрирующего конденсато-сборника в турбоустановках мощностью 300, 500 и 800 Мвт значительно уменьшает исходные концентрации кислорода в воде, поступающей в термический деаэра-

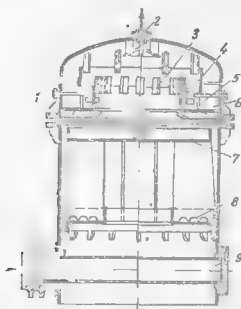


Рис 6-4. Схема деаэрационной колонки струйного типа повышенного давления двухступенчатого деаэратора.

1 — фланцевый разъем, 2 — отвод выпара, 3 — расщепители, 4 — подпитывающая перегородка, 5 — ося для выхода воды из камер смешения, 6 — камера смешения; 7 — первая тарелка, 8 — вторая тарелка, 9 — коллектор подвода пара.

тор В связи с этим для ТЭС, где парогенераторы питаются химически обессоленной водой, разработаны более простые одноступенчатые деаэраторы с давлением в колонке 7 кгс/см^2 , в которых при начальном содержании кислорода в деаэрируемой воде до 1 мг/кг в диапазоне изменения производительности от 170 до 590 т/ч и нагреве воды от 11 до 25°C удается получать остаточное содержание кислорода в деаэрированной воде не выше 10 мкг/кг . Колонка ДСП-800 (рис. 6-4) для такого деаэратора представляет собой вертикальный цилиндрический корпус с фланцевым соединением верхней и нижней

частей. В верхней части колонки находится смесительное устройство 6, в которое введены шланги для подвода конденсата и добавочной воды. В нижней части колонки размещены две дырчатые тарелки 7 и 8, по которым установлены трубы для подвода греющего пара.

в) Факторы, влияющие на повышение эффекта термической деаэрации

Одним из способов повышения эффекта термической деаэрации, как уже сказано выше, является применение барботажа пара в баке-аккумуляторе через деаэрируемую воду для поддержания ее в состоянии кипения. *Барботаж пара способствует достижению более полного удаления из воды растворенных газов, проскочивших вследствие ряда причин из деаэраторной колонки в бак-аккумулятор.* Для осуществления барботажа появляется необходимость в расходе пара повышенного давления, но степень конденсации барботажного пара ничтожна, так как вода уже нагрета в колонке до температуры насыщения. Поэтому расход барботажного пара зависит от того, какое количество его можно сконденсировать дегазированной водой, так как количество пара, удаляемого из деаэратора с выпаром, относительно невелико и стабильно.

Опытным путем установлено, что: а) выделение газов из воды в греющий пар происходит главным образом, за счет десорбции; б) в той части деаэраторной колонки, где температура воды достигает температуры кипения, в водяных струях или пленках образуются мельчайшие газовые пузырьки, выделяющиеся в последующем в паровую среду. Существенное влияние на эффективность удаления мельчайших газовых пузырьков, находящихся в нерастворенном состоянии, оказывает продолжительность пребывания воды в баке-аккумуляторе; чем она больше, тем меньше остаточное содержание кислорода в воде на выходе из деаэратора, главным образом за счет продолжающегося в баке-аккумуляторе выделения газовых пузырьков; обычно емкость бака-аккумулятора принимается равной 20—30-мин расходу питательной воды.

Большое влияние на величину остаточного содержания кислорода в дегазированной воде оказывает темпе-

ратурный режим деаэратора. Недогрев воды до температуры кипения при данном давлении только на 1°C уже приводит к недопустимому повышению содержания кислорода в дегазированной воде.

Для обеспечения эффективной работы деаэрационной колонки требуется вентиляция ее с целью полного отвода из нее выделившихся из воды газов и обеспечения тем самым минимального парциального давления этих газов в паровом пространстве верхней части колонки. Это достигается непрерывным отводом из колонки парогазовой смеси. Количество выпара оказывает существенное влияние на эффект деаэрации, как это можно

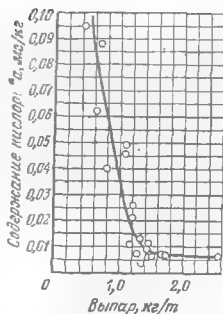


Рис. 6-5 Зависимость содержания кислорода в деаэрированной воде от расхода выпара (начальное содержание кислорода 3,4—6,9 мг/кг).

видеть из графика, приведенного на рис. 6-5, на котором опытную кривую можно разделить на два участка. Первый из них относится к удельному выпару меньше $1,5 \text{ кг на } 1 \text{ т}$ деаэрируемой воды. На этом участке кривая протекает довольно круто, вследствие чего с уменьшением выпара ниже $1,5 \text{ кг/т}$ концентрация кислорода в деаэрированной воде резко повышается. На втором участке кривой, т. е. при удельном выпаре больше $1,5 \text{ кг/т}$, остаточное содержание кислорода практически не зависит от количества выпара. Таким образом, устойчивость процесса термической деаэрации питательной воды достигается при расходе выпара $1,5\text{—}2 \text{ кг на } 1 \text{ т}$. Если деаэрируемая вода содержит много углекислоты, то выпар рекомендуется повысить до $2\text{—}3 \text{ кг/т}$. Оптимальный размер выпара целесообразно устанавливать для каждого деаэратора опытным путем. Результаты испытаний ряда промышленных деаэраторов свидетельствуют о том, что при наличии барботажа и исправной деаэрационной колонки можно достичь высокой степени газоудаления при количестве выпара значительно ниже $1,5 \text{ кг/т}$.

Как правило, газо-водяная смесь направляется в охладитель выпара, что бы снизить потерю пара и тепла до минимума, а конденсат, содержащий газы, подается восторной деаэрации.

Если охладитель выпара поверхностный, то трубки его изготавливаются из нержавеющей стали или мышьяковистой бронзы, а трубные доски — из мушкет-металла либо из никелевой бронзы по избежание их коррозии.

Охлаждение выпара атмосферных деаэраторов может быть осуществлено также при помощи водоструйного эжектора, рабочей средой которого является часть основного турбинного конденсата, подаваемого конденсатным насосом. Линия выпара от деаэраторов 6 кгс/см^2 может быть подключена через дроссельные шайбы к трубопроводу греющего пара атмосферных деаэраторов химически обработанной деаэрированной питательной воды; при этом отпадает необходимость в охладителях выпара.

Для обеспечения длительной глубокой деаэрации воды количество греющего пара, подаваемого в термический деаэратор, должно соответствовать непрерывному поддержанию деаэрированной воды в состоянии кипения. Недостаточное количество греющего пара вызывает падение давления и ухудшение эффекта деаэрации.

Надежная эксплуатация термического деаэратора возможна лишь при автоматическом поддержании в нем постоянного давления. Благодаря этому обеспечивается независимо от его тепловой и гидравлической нагрузки постоянство температурного режима деаэрации, необходимое для наиболее полного удаления газов из питательной воды.

Регулятор давления, поддерживающий соответствие между количеством поступающего пара и потребностью в нем, определяемой нагрузкой деаэратора, должен обладать высокой чувствительностью, благодаря которой он мог бы реагировать на малейшие отклонения заданного давления. На современных установках используются, как правило, наиболее чувствительные электрические регуляторы давления. Регулятор уровня необходим для приравнивания количества подаваемой в деаэраторы воды количеству воды, забираемой с конденсатора питательными насосами. Эти регуляторы могут выполняются разгруженными поплавковыми. Поплавок, следя за уровнем, изменяет степень открытия клапана, подводящего питательную воду в деаэратор. Применяются также электромеханические регуляторы уровня.

Для того чтобы предохранить корпус деаэратора от смятия при перегрузке в нем разгружения, а также на случай повышения давления выше допустимого деаэраторы снабжаются гидравлическими затворами, обеспечивающими сообщение внутренней полости деаэратора с атмосферой.

При наличии на электростанциях нескольких параллельно работающих деаэраторов вполне достаточным является автоматическое

регулирующие и сбросных линиях от греющего пара и дебетовой питательной воды при отключении гидравлического регулирования работы каждого деаэратора. В том случае исключается перетекание воды из одного бака в другой.

Испытания термических деаэраторов показали, что остаточное содержание кислорода в деаэрированной воде может быть доведено до 7—10 мг/кг. Удаление из воды растворенной свободной углекислоты и степень термического разложения бикарбоната натрия в значительной мере зависят от величины бикарбонатной щелочности деаэрируемой воды. При карбонатной щелочности деаэрируемой воды выше 0,65 мг-экв/кг и содержании свободной углекислоты в ней и греющем паре не более 3—5 мг/кг с повышением давления в деаэраторе облегчается удаление из воды свободной углекислоты. При низких значениях бикарбонатной щелочности деаэрируемой воды (меньше 0,65 мг-экв/кг) и начальном содержании свободной углекислоты в ней и греющем паре большие 3—5 мг/кг скорость десорбции CO_2 заметно снижается. В этих случаях применение барботажа в баке-аккумуляторе способствует перемешиванию воды и увеличению скорости десорбции CO_2 , что обеспечивает более глубокое разложение NaHCO_3 . Влияние оптимального расхода пара на барботаж зависит от содержания углекислоты в паре, типа барботажного устройства и возникающих при этом энергетических потерь. Рекомендуется подавать на барботаж 20—30% всего пара, подаваемого в деаэратор, но не меньше 15—20 кг на 1 т деаэрируемой воды. На промышленных ТЭЦ с высоким размером непрерывной продувки целесообразно весь пар от расширителей непрерывной продувки подавать в деаэраторы через барботажные устройства.

Существенное значение для надежной деаэрации имеет гидравлический режим работы деаэратора. При увеличении гидравлической нагрузки деаэратора сверх ее расчетной величины возможны переполнение тарелок в колонке и переливание воды через борты гофрированными струями, которые, не успев прогреться до нужной температуры и освободиться полностью от кислорода и углекислоты, попадают в бак-аккумулятор и снижают эффект деаэрации. Кроме того, в этом случае нарушается равномерное распределение пара и увеличивается паровое сопротивление колонки, что также может вызвать недогрев воды и неполное освобождение ее от газов.

6-2 ДЕАЭРАЦИЯ В КОНДЕНСАТОРАХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Конденсаторы паровых турбин, в которых поддерживается глубокий вакуум (до 97%), являются мощными вакуумными деаэраторами. Поэтому они иногда используются для деаэрации всей питательной воды паровых котлов. На рис. 6-6 изображена схема деаэрации добавочной химически обработанной воды в конденсаторе турбины 3 с последующей деаэрацией всей питательной воды в деаэраторе 7 повышенного давления после претварительного подогрева в регенеративных подогревателях 5.

Правильно сконструированный конденсатор паровой турбины при отсутствии притоков воздуха в конденсаторный или через сальники конденсатных насосов обес-

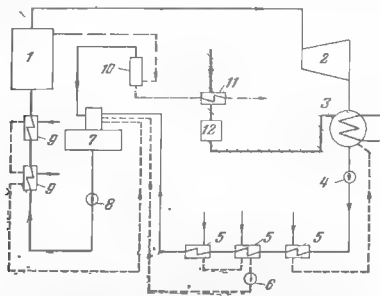


Рис. 6-6. Схема деаэрации добавочной воды в конденсаторе турбины и последующей деаэрации всей питательной воды в деаэраторе повышенного давления.

1 — парогенератор, 2 — турбина; 3 — конденсатор, 4 — конденсатный насос, 5 — регенеративный подогреватель, 6 — насос, 7 — термический деаэратор при р=6 кг/см², 8 — расширительный бак, 9 — регенеративные подогреватели высокого давления, 10 — теплообменник, 11 — теплообменник, 12 — водоподготовительная установка.

печивает глубокую деаэрацию конденсата. Большая поверхность соприкосновения деаэрируемой воды с паром, а также достаточно низкое парциальное давление удаляемых газов над поверхностью жидкости на большей части пути создают условия, благоприятствующие десорбции из воды растворенных газов. Нагрузка турбины

и, следовательно, паровая нагрузка конденсатора в пределах 60—100% максимальное оказывают незначительное влияние на остаточное содержание кислорода в конденсате (рис. 6-7).

Для улучшения эффекта деаэрации добавочной воды ввод ее иногда осуществляется непосредственно в паровое пространство через распылители. Эффективность деаэрации в конденсаторе можно улучшить, если место отсоса воздуха расположить по возможности дальше от пути стока струй и пленок основного конденсата. Целесообразно конденсат воздухоохладителя как наиболее загрязненный газами подвергать специальной обработке паром для деаэрации его до смешения с основным конденсатом.

При осуществлении деаэрации в конденсаторах от эксплуатационного персонала требуется поддержание в условиях длительной эксплуатации достаточно высокой воздушной плотности вакуумной системы, включая конденсатор турбины, регенеративные подогреватели и узел конденсатных насосов, работающих под разрежением. Даже небольшие присосы воздуха в вакуумную часть конденсационной установки, в частности через краны водоуказательных стекол и сальники конденсатных насосов, резко ухудшают эффективность деаэрации.

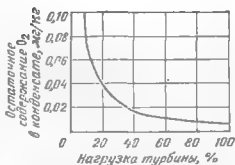


Рис. 6-7. Влияние нагрузки турбины на остаточное содержание кислорода в конденсате.

6-3. ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕСКИСЛОРОЖИВАНИЕ

В целях ликвидации проскоков кислорода в термически деаэрированную питательную воду парогенераторов в. д., с. в. д. и с. к. д. применяется обработка ее гидразин-гидратом $N_2H_4 \cdot H_2O$ либо гидразин-сульфатом $N_2H_4 \cdot H_2SO_4$, обладающими сильными восстановительными свойствами.

Гидразин-гидрат представляет собой бесцветную жидкость со слабощелочными свойствами, кипящую при $118,5^\circ C$, с точкой плавления $2^\circ C$. Пары гидразин-гидрата вредно действуют на слизистые оболочки и дыхательные пути человека; растворы гидразин-гидрата вызывают ожоги кожной ткани и дерматозы. Гидразин-сульфат

является твердым веществом с кислыми свойствами; он менее ядовит, чем гидразин гидрат. Гидразин гидрат доставляется и хранится в стальных баллонах, а гидразин-сульфат в деревянной

Реакция между гидразином-гидратом и кислородом протекает по уравнению



Основными факторами, определяющими скорость этой реакции, являются избыток гидразина, начальная концентрация растворенного кислорода, температура, значение pH среды, присутствие и концентрация катализаторов. Реакция практически не протекает в кислой среде и катионированном конденсате при температуре 25 °С. Присутствие меди резко увеличивает скорость процесса. Даже при содержании меди в количестве всего 0,01 мг/кг в слабощелочной среде при 20 °С скорость взаимодействия резко увеличивается. В условиях парогенераторов, т. е. при температуре 200—300 °С, величине pH = 9 ÷ 10, в присутствии различных катализаторов, в том числе меди, процесс взаимодействия гидразином-гидрата с кислородом протекает практически мгновенно.

В результате протекания реакции между гидразином-гидратом и кислородом солесодержание обработанной воды не повышается, так как конечными ее продуктами являются вода и азот.

Гидразин в пароводяном цикле электростанции способен вступать во взаимодействие также с оксидами железа и меди. Восстановление оксидов металлов обуславливает в начальной стадии обработки питательной воды гидразином увеличение его расхода, который нормализуется после завершения восстановительных процессов в пароводяном тракте электростанции. Поэтому до введения гидразиновой обработки воды внутренние поверхности котлов, коллекторов, экономайзеров, баков-аккумуляторов, деаэраторов и других емкостей должны быть очищены механическим или химическим способом от скопления оксидов железа и меди.

Обработка воды гидразином заключается в непрерывном дозировании в питательную воду таких количеств раствора гидразина, которые обеспечивают полное обескислороживание и создание некоторого избытка N_2H_4 . Хороший результат по обескислороживанию питательной воды обеспечивается при дозировании гидразина в 2—3-кратном количестве по отношению к остаточному

кислороду, содержащемуся в воде после деаэраторов. Избыток гидразина целесообразно поддерживать на уровне 0,02—0,03 мг/кг (но не больше 0,1 мг/кг) N_2H_4 .

Раствор гидразин-гидрата вводится непрерывно в баки-аккумуляторы деаэраторов или в питательную магистраль непосредственно за баками-аккумуляторами.

При одновременном осуществлении гидразинной и аммиачной обработки питательной воды суммарное содержание в паре аммиака должно составить величину, принятую по условиям нейтрализации всей свободной углекислоты. Дозирование гидразина и аммиака можно производить с помощью одного и того же дозирующего приспособления в виде смеси растворов.

В целях предотвращения коррозии тракта питательной воды вплоть до деаэратора на ряде тепловых электростанций успешно применяется химическое обескислороживание обессоленной воды и конденсатов, осуществляемое с помощью сильноосновных анионитов в SO_3^{2-} -форме. Для этого сильноосновной анионит (см. гл. 9) регенерируется 2—4%-ным раствором Na_2SO_3 вследствие чего функциональные группы переводятся в SO_3^{2-} -форму. Этот ионитовый способ химического обескислороживания является эффективным и достаточно экономичным.

6.4. УДАЛЕНИЕ СВОБОДНОЙ УГЛЕКИСЛОТЫ

Для удаления свободной углекислоты из обрабатываемой воды на подоподготовительных установках отечественных электростанций применяются пленочные декарбонизаторы с деревянной хордовой насадкой или с насадкой из колец Рашига. Декарбонизаторы работают на принципе десорбции в условиях противотока воды и воздуха, подаваемого снизу специальным вентилятором. Декарбонизатор с деревянной хордовой насадкой представляет собой деревянную башню (рис. 6-8), которая заполняется на некоторую высоту щитами, состоящими из досок, уложенных плашмя в шахматном порядке с зазорами между ними. Декарбонизируемая вода входит сверху через центральный патрубок 1 и равномерно распределяется специальным распределительным щитом на поверхности насадки. Далее вода тонкой пленкой стекает по доскам щитов, омывая их. Через нижний боковой патрубок вентилятором 5 подается воздух, который подни-

мается вверх навстречу воде. Так как в обрабатываемой воде парциальное давление углекислоты значительно больше, чем в воздухе, то при их соприкосновении углекислота переходит из воды в воздух и вместе с ним проходит через патрубки распределительного щита и через большой патрубок 6 отводится в атмосферу. Вода, про-

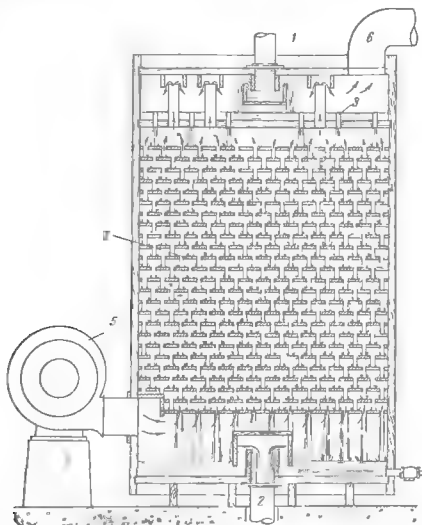


Рис 68 Декарбонизатор пленочного типа с деревянной насадкой. 1 — подвод воды, 2 — выход воды, 3 — распределительные сопла, 4 — деревянная насадка, 5 — вентилиатор, 6 — выход воздуха.

шедшая декарбонизатор, через водяной затвор сливается в бак декарбонизированной воды, который часто располагается прямо под днищем декарбонизатора.

На основании исследований, проведенных на промышленных декарбонизаторах с деревянной хордовой насадкой и модели, установлено, что удельный расход

воздуха, обеспечивающий достаточно глубокое удаление свободной углекислоты, составляет в среднем 20 м^3 на 1 м^3 воды, б) оптимальная плотность орошения деревянной хордовой насадки составляет $40\text{--}45 \text{ м}^3/\text{м}^2$; в) скорость движения воздуха через декарбонизатор следует принимать не меньше $0,085\text{--}0,1 \text{ м/сек}$, считая по незаполненному насадкой сечению аппарата. При правильном выборе величины поверхности контакта дегазированной воды с воздухом и поддержании указанного выше расхода воздуха декарбонизатор пленочного типа способен обеспечить остаточное содержание свободной углекислоты в воде при температуре ее до 30°C в количестве $3\text{--}7 \text{ мг/кг}$.

К недостаткам декарбонизатора с деревянной хордовой насадкой относятся: а) сравнительно малая удельная поверхность (поверхность единицы объема) деревянной насадки, требующая увеличенной высоты декарбонизатора; б) недолговечность деревянного корпуса и насадки декарбонизатора, подверженных делигнификации и гниению; в) трудность герметизации корпуса декарбонизаторов. Этот недостаток лишен декарбонизатор, заполненный керамическими кольцами Рашига ($25 \times 25 \times 3 \text{ мм}$), корпус которого выполнен из металла. Обработываемая вода подается в верхнюю часть его (плотность орошения составляет около $60 \text{ м}^3/\text{м}^2$) и стекает через загрузку из колец Рашига; навстречу ей вентилятором подается воздух с удельным расходом примерно $15 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Для защиты декарбонизаторов от коррозии и предотвращения загрязнения воды продуктами коррозии металла внутренняя поверхность аппарата покрывается перхлорвиниловым лаком, эпоксидной смолой, резиной или другими противокоррозионными веществами. На верхней крышке аппарата установлен брызгоуловитель для предотвращения чрезмерного уноса влаги воздухом и обледенения воздухопровода за пределами здания. Для предотвращения утечек воздуха сливной штуцер внизу декарбонизатора снабжен гидравлическим затвором. Для загрузки и выгрузки колец Рашига предусмотрены два лаза. При использовании в качестве насадки колец Рашига удастся уменьшить площадь и высоту декарбонизатора с одновременным уменьшением эксплуатационных расходов и получением более глубокого эффекта декарбонизации.

УДАЛЕНИЕ ГРУБОДИСПЕРСНЫХ И КОЛЛОИДНЫХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ПРИРОДНЫХ ВОД И КОНДЕНСАТОВ

7-1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Обработка поверхностных природных вод для восполнения потерь пара и конденсата на тепловых электростанциях начинается с очистки их от грубодисперсных и коллоидных примесей, которые могут явиться причиной образования вторичной накипи на поверхностях нагрева, ухудшения качества пара и загрязнения ионитовых материалов (см. гл. 9).

Удаление из воды грубодисперсных примесей достигается осветлением ее путем отстаивания и фильтрования.

Отстаивание воды является естественным процессом, при котором взвешенные в воде грубодисперсные частицы с плотностью, превышающей плотность воды, осаждаются под действием силы тяжести. Осветление воды отстаиванием осуществляется в осветлителях. Осветление воды путем фильтрования заключается в пропускании ее через осветлительные фильтры, загруженные зернистым фильтрующим материалом, задерживающим грубодисперсные примеси воды. Осветление воды без введения в нее реагентов применяется в тех случаях, когда она загрязнена только грубодисперсными веществами. Обычно же поверхностные воды содержат значительное количество коллоиднодисперсных веществ с диаметром частиц менее 100 мкм, которые не осаждаются в осветлителях и не задерживаются осветлительными фильтрами.

Для полного осветления воды, содержащей коллоиднодисперсные вещества, необходимо укрупнение их частиц, которое достигается их коагулированием.

Коагулированием называется технологический процесс обработки воды реагентами, который завершается коагуляцией ее коллоидных примесей. Коагуляция является физико-химическим процессом слипания коллоидных частиц и образования грубодисперсных хлопьев, выпадающих в осадок и удаляемых из воды осаждением их в осветлителях или фильтрованием в осветлительных фильтрах. Реагенты, применяемые для коагулирования, называют коагулянтами, а химические агенты, вызываю-

щие коагуляцию коллоидных примесей воды, — коагуляторы.

Эффект осветления коагулированной воды в осветлителях ниже, чем в осветлительных фильтрах. С другой стороны, целесообразное применение осветлительных фильтров возможно только при незначительном содержании в воде грубодисперсных примесей. Поэтому обычно применяется двухступенчатое осветление воды: а) коагулирование и задержание взвеси в осветлителе со снижением ее содержания до 8—12 мг/кг; б) последующее глубокое осветление фильтрованием коагулированной воды, содержащей тонкодисперсную взвесь, не успевшую осесть в осветлителях.

В результате процессов коагулирования и осветления увеличивается прозрачность воды, снижается ее окисляемость и происходит ее обесцвечивание. При правильно налаженных режимах коагуляции воды удаляется примерно 60—80% органических веществ. В тех случаях, когда требуется более глубокое удаление из воды органических веществ, например в установках химического обессоливания воды, коагулированная вода после осветления ее в осветлителях и в осветлительных фильтрах пропускается через фильтры, загруженные активированным углем либо макросетчатыми нонитовыми смолами, почти полностью извлекающими из нее органические вещества.

7.2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ

Для того чтобы понять сущность процесса коагуляции, рассмотрим сначала причины устойчивости коллоидных растворов, т. е. причины того, почему коллоидные частицы неопределенно долгое время находятся во взвешенном состоянии и не осаждаются.

Коллоидные частицы, содержащиеся в воде, находятся в непрерывном и беспорядочном броуновском движении. Между ними действуют силы взаимного притяжения и отталкивания. Силы взаимного отталкивания объясняются тем, что однородные коллоидные частицы имеют электрические заряды одного знака. Наличие электрических зарядов объясняется следующими причинами. Каждая коллоидная частица обладает весьма значительной адсорбционной способностью, благодаря чему она адсор-

бирует из раствора ионы электролитов одного знака, которые распределяются равномерно по ее поверхности, образуя адсорбционный слой. Коллоидная частица вместе с адсорбционным слоем называется гранулой. Ввиду наличия у гранулы электрического заряда вокруг нее концентрируются ионы с зарядами противоположного знака (противоионы). Противоионы не связаны прочно с гранулой; они сохраняют способность к диффузии в окружающую жидкость, образуя вокруг

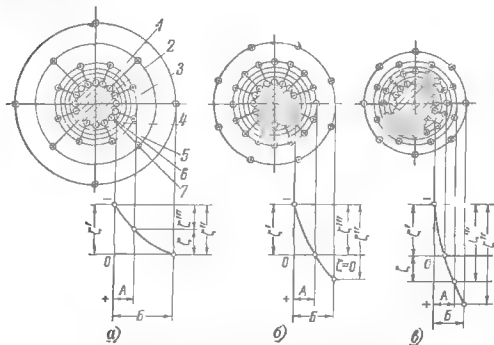


Рис. 7-1. Схема строения коллоидной мицеллы.

1 — ядро коллоидной частицы, 2 — адсорбционный слой, 3 — поверхность скольжения, 4 — двойной электрический слой толщиной A , 5 — диффузионный слой толщиной B , 6 — адсорбированные ионы, 7 — противоионы, а — состояние мицеллы, при котором коллоидная частица имеет отрицательный заряд, б — состояние мицеллы, при котором коллоидная частица не имеет заряда; в — состояние мицеллы, при котором знак заряда коллоидной частицы переменяется с отрицательного на положительный.

гранулы диффузный слой, в котором концентрация противоионов уменьшается по мере удаления от гранулы. Гранула вместе с диффузным слоем называется мицеллой; схема строения последней показана на рис. 7-1.

При броуновском движении вместе с коллоидной частицей движется двойной электрический слой, состоящий из ионов адсорбционного слоя и части противоионов диффузного слоя, содержащихся в оболочке воды, окружающей частицу. Остальные противоионы, располо-

женные вокруг двойного электрического слоя, отрываются от движущей частицы. Благодаря этому последняя, потеряв часть прогивононов, приобретает некоторый заряд, одинаковый по знаку с зарядом гранулы, но меньший по сравнению с ним по величине. Граница между двойным слоем и остальной частью диффузного слоя называется поверхностью скольжения коллоидной частицы в растворе.

Так как все однородные частицы имеют на поверхности скольжения заряды одного знака, то между ними

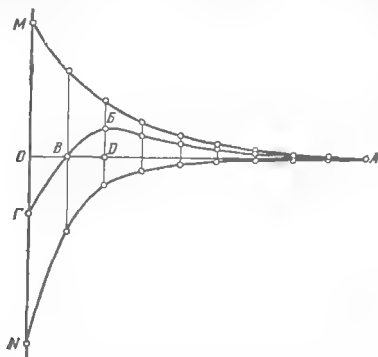


Рис 7.2. Зависимость взаимодействия сил отталкивания и притяжения от расстояния между коллоидными частицами.

ОА — расстояние между коллоидными частицами, АМ — кривая отталкивания, АN — кривая притяжения АBVG — результирующая кривая взаимодействия коллоидных частиц; BD — «слоевой барьер».

действуют силы взаимного отталкивания, которые, так же как и силы взаимного притяжения, уменьшаются с увеличением расстояния между частицами. Зависимость взаимодействия сил притяжения и отталкивания графически изображена на рис. 7-2. При уменьшении расстояния между частицами сначала действует результирующая сила взаимного отталкивания, возрастающая до своей максимальной величины в точке В, после ко-

рой она уменьшается до нуля в точке B , а затем результирующая сила взаимного притяжения, возрастающая до своей наибольшей величины в точке Γ при расстоянии между частицами, равно нулю.

Для того чтобы произошла коагуляция, т. е. взаимное притяжение и слипание движущихся частиц, последние должны преодолеть максимальную результирующую силу отталкивания — «силовой барьер» $БД$. Чем выше «силовой барьер», тем труднее его преодолеть и вызывать коагуляцию. Чем меньше величина электрических зарядов, тем меньше сила взаимного отталкивания, тем ниже «силовой барьер». Снижение величины зарядов частиц может быть достигнуто увеличением концентрации противоионов в растворе путем добавления к последнему соответствующих электролитов. При повышении концентрации противоионов в растворе требуется меньший объем диффузного слоя для нейтрализации ионов адсорбционного слоя, т. е. происходит как бы сжатие его. Это сжатие может произойти до такого объема, при котором диффузный слой не будет выходить за пределы поверхности скольжения, т. е. он будет находиться в пределах двойного электрического слоя и противоионы будут полностью уравновешены (рис. 7-1,б) и частицы лишаются электрических зарядов, а следовательно, и сил взаимного отталкивания. В результате между частицами будут действовать только силы взаимного притяжения, благодаря которым они начнут слипаться, укрупняться и далее выпадать из коагулированной воды. При дальнейшем увеличении концентрации противоионов диффузный слой может оказаться по объему меньше объема, ограниченного поверхностью скольжения. В этом случае произойдет перемена знака заряда частиц на поверхности скольжения (рис. 7-1,в), и между частицами вновь начнут действовать силы взаимного отталкивания.

Содержащиеся в поверхностных природных водах коллоидные частицы соединений алюминия, железа, кремния и гумусовых веществ, которые подчиняются изложенным закономерностям, являются амфолитами, т. е. веществами, обладающими амфотерными свойствами. Их молекулы, находящиеся на поверхности частиц, соприкасающейся с водой, способны в определенных условиях в зависимости от pH диссоциировать в воде как кислоты или щелочи. В результате этого вокруг каждой из коллоидных частиц образуется двойной

электрический слой, причем величина заряда частицы зависит от степени диссоциации, а знак заряда — от того, как диссоциируют молекулы амфолита: как кислоты или щелочь. Степень и характер диссоциации зависят от концентрации водородных ионов, т. е. от показателя pH. Для каждого амфолита существует такое значение pH среды, при котором его молекула не диссоциирует на ионы и заряд его частиц равен нулю. Такое состояние коллоидной системы называется изoeлектрическим, а соответствующее ему значение pH среды — pH изoeлектрической точки коллоидной системы. Если pH среды больше pH изoeлектрической точки амфолита, молекулы последнего диссоциируют как кислоты, и частицы его имеют отрицательные заряды. Если pH среды меньше pH изoeлектрической точки амфолита, молекулы последнего диссоциируют, как щелочь, и частицы его имеют положительные заряды. Чем больше разность между pH среды и pH изoeлектрической точки амфолита, тем больше величина зарядов его частиц, тем устойчивее коллоидная система.

Изoeлектрическая точка глины достигается при $\text{pH} = 5$, гуминовых веществ — при $\text{pH} = 4$. Поверхностные воды обычно имеют pH в пределах 6—8. Следовательно, эти вещества, находясь в поверхностной воде, диссоциируют как кислоты: на поверхности их частиц располагаются анионы, а в диффузном слое концентрируются катионы. Благодаря этому частицы приобретают отрицательные заряды, и их система отличается относительно высокой степенью устойчивости.

Понижая pH путем подкисления воды до pH изoeлектрической точки амфолитов, т. е. увеличивая концентрацию водородных ионов, являющихся в данном случае противоянами, можно нейтрализовать отрицательные заряды частиц. В результате этого устойчивость коллоидной системы уменьшается и становится возможным слипание однородных частиц. Однако силы прилипания, действующие между взвешенными частицами, имеющими заряды различных знаков, недостаточно велики, что препятствует образованию прочных и крупных агрегатов. Кроме того, этим процессом трудно управлять. Более эффективным способом коагуляции является процесс взаимодействия различных по своей природе веществ, загрязняющих поверхностные воды, и реагентов, добавляемых в осветляемую воду при ее коагуляции. Сущность такой

коагуляции, получившей широкое практическое применение, базируется на слипании разнородных частиц в растворах электролитов. В смеси различных коллоидных и грубодисперсных веществ достаточно, чтобы частицы одного какого-либо вещества оказались неустойчивыми, чтобы вся система начала коагулировать. В воде при ее химической обработке таким неустойчивым компонентом является гидроокись алюминия или железа, образующаяся в результате гидролиза коагулянтов (см. ниже). Взве-

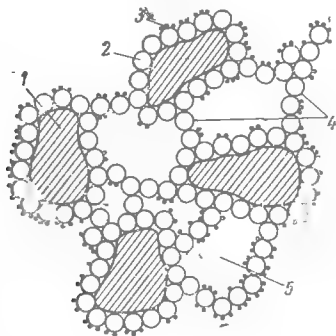


Рис. 7-3. Структура хлопьев, образующихся при коагуляции.

1 — частицы взвеси, 2 — частицы гидроокиси алюминия;
3 — гуминовые вещества; 4 — «клеевые мостики», 5 — «захваченная» вода.

шенные частицы соединяются не непосредственно, а с помощью гидроокиси алюминия или железа, находящейся в чужезлектрическом состоянии. Частицы гидроокиси сорбируются на поверхностях взвешенных частиц и одновременно образуют как бы «клеевые мостики», связывающие взвесь в достаточно крупные и тяжелые агрегаты, осаждающиеся с приемлемой скоростью (рис. 7-3).

Для осуществления технологического процесса коагулирования содержащихся в воде коллоидных примесей в качестве коагулянтов применяются сернистый алю-

миний $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, сернокислосое закисное железо $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и хлорное железо FeCl_3 .

В результате реакций гидролиза



и последующего окисления гидрата закиси железа растворенным в воде кислородом

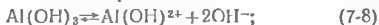
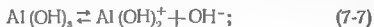


образуются почти нерастворимые в воде гидраты окисей алюминия и железа, которые являются неустойчивыми компонентами коллоидной системы.

Приведенные реакции гидролиза могут протекать лишь при условии, если образующаяся при этом серная или соляная кислота будет частично нейтрализована содержащимися в воде бикарбонатами кальция и магния, а при их отсутствии или недостатке — добавляемыми в воду щелочными реагентами: известью $\text{Ca}(\text{OH})_2$, содой Na_2CO_3 или едким натром NaOH с доведением pH до оптимальной величины. Например:



Гидраты окисей алюминия и железа обладают амфотерными свойствами. Например, гидрат окиси алюминия при $\text{pH} < 6,5$, т. е. в кислой среде, диссоциирует, как щелочь:



Благодаря выходу из твердой фазы аномально подвижных ионов OH^- частицы гидрата окиси алюминия приобретают положительные заряды, в отрицательные противоионы OH^- образуют атмосферу диффузионного слоя. В щелочной среде при $\text{pH} > 7,5$ гидрат окиси алюминия диссоциирует как кислота:



Благодаря выходу из твердой фазы аномально подвижных ионов H^+ частицы гидрата окиси алюминия приобретают отрицательные заряды, а положительные противоионы H^+ образуют атмосферу диффузного слоя. При значениях $pH > 8$ гидрат окиси алюминия диссоциирует практически полностью. А так как диссоциируют только молекулы электролитов, растворенных в воде, то можно считать, что при указанных значениях pH все молекулы гидрата окиси алюминия, диссоциированные на ионы, полностью растворены в воде при полном отсутствии в последней нерастворимых хлопьев $Al(OH)_3$.

При значениях pH в пределах 6,5—7,5 степень диссоциации гидрата окиси алюминия минимальна; он находится в изoeлектрическом состоянии и коллоидные частицы его или звязаны незначительно, или вовсе не имеют заряда и поэтому быстро коагулируют, слипаясь в хлопья. Одновременно с автокоагуляцией коллоидных частиц гидрата окиси алюминия происходит слипание их с частицами коллоидных примесей воды. Двойной электрический слой защищает частицы взвеси только от слипания между собой, но не препятствует слипанию их с частицами гидрата окиси алюминия, с помощью которого только и происходит соединение разнородных частиц в хлопья. Поэтому, для того чтобы процесс коагуляции шел достаточно быстро, необходимо вести его близко к изoeлектрической точке гидроокиси алюминия. В дистиллированной воде изoeлектрическая точка коагуляции коллоида $Al(OH)_3$, образующегося в результате гидролиза $Al_2(SO_4)_3$, близка к $pH = 7,2$. Наличие в воде, помимо $Al_2(SO_4)_3$, других электролитов смещает изoeлектрическую точку коагуляции коллоида $Al(OH)_3$.

Приведенная выше реакция окисления гидрата закиси железа в гидрат окиси железа в кислой и нейтральной средах протекает медленно, и процесс коагуляции не завершается в очистных сооружениях. Так как при $pH > 8$ скорость этого процесса повышается, необходимо одновременно с введением в воду сернокислого железа добавлять щелочь, сочетая коагуляцию, например, с известкованием воды. В этом случае реакция образования гидрата окиси железа может быть изображена следующим образом:



Независимо от применяемого коагулянта процесс коагуляции протекает не мгновенно, а требует для своего завершения некоторого промежутка времени. Установлено, что в процессе укрупнения коллоидные частицы проходят стадии «скрытой», а затем «явной» коагуляции, сопровождаемые образованием хлопьев и осаждением их в осадок. Хлопья, образующиеся непосредственно после присадки коагулянта и не видимые простым глазом, постепенно соединяются в крупные комплексы, происходит помутнение воды, которое с течением времени усиливается, после чего образуются еще более крупные рыхлые хлопья, осаждающиеся на дно и увлекающие с собой все грубодисперсные загрязнения. Постепенное осаждение хлопьев сопровождается повышением прозрачности воды.

Для ускорения процесса коагуляции применяются подогрев коагулируемой воды до $30-40^{\circ}\text{C}$ и перемешивание ее, благодаря чему коллоидные частицы загрязнений и коагулянта испытывают более частые и сильные столкновения, приводящие к их слипанию. Однако перемешивание не должно производиться слишком энергично, чтобы не раздробить образовавшихся хлопьев. Повышение температуры сверх 40°C ухудшает эффект осветления вследствие более быстрого броуновского движения коллоидных частиц и торможения адсорбции их хлопьями. Процесс коагуляции в некоторых случаях может быть ускорен также при применении смеси коагулянтов FeCl_3 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Для ускорения процесса коагуляции в последнее время все более широкое применение получает полиакриламид. Добавление полиакриламида в коагулируемую воду после образования хлопьев коагулянта даже в очень малых дозах ($0,5-2,0 \text{ мг/кг}$) значительно укрупняет и утяжеляет хлопья коагулянта, что приводит к ускорению их осаждения и дает возможность повысить скорость подъема воды в осветлителях и их производительность. Полиакриламид выпускается в виде студнеподобной массы и применяется в виде раствора $0,1-0,2\%$ -ной концентрации.

Серниокислородное железо как коагулянт имеет следующие преимущества по сравнению с серниокислым алюминием: а) процесс коагуляции серниокислым железом не зависит от температуры воды и поэтому не требует ее подогрева; б) скорость осаждения гидрата окиси железа выше, чем гидрата окиси алюминия, так как плотность гидрата

окиси железа в 1,5 раз больше плотности гидрата окиси алюминия, что позволяет уменьшить продолжительность отстаивания и разчеры осветлителей. Несмотря на эти преимущества сернистого железа, в проточных коагуляционных установках целесообразнее применять в качестве коагулянта сернистый алюминий, не требующий, как правило, подщелачивания воды при наличии достаточной для создания оптимального pH естественной щелочности (карбонатной жесткости).

Выбор вида и эксплуатационной дозы коагулянта, а также дозы щелочного реагента и оптимальной величины pH производится на основе результатов пробной коагуляции воды различными реагентами, проводимой в лабораторных условиях в характерные для источника водоснабжения периоды года.

7.3. КОАГУЛЯЦИЯ ВОДЫ В ОСВЕТИТЕЛЕ

На рис. 7-4 приведена принципиальная схема коагуляционной установки с осветлителем. Исходная вода после подогрева ее до температуры 25—30° поступает в осветлитель вместе или раздельно с раствором коагулянта. В трубопровод исходной воды перед осветлителем вводится раствор кислоты или щелочи для создания оптимального значения pH, а в случае применения в качестве коагулянта сернистого закисного железа вводится раствор хлора для окисления двухвалентного железа в трехвалентное.

В осветлителе происходит хлопьеобразование и осветление воды. Осветленная вода поступает в промежуточный бак, из которого насосами подается на осветлительные фильтры для окончательного освобождения от тончайшей взвеси, не задержанной в осветлителе. Из фильтров взвесь удаляется взрыхляющей промывкой обратным током воды. Промывочные воды собираются в специальном отстойнике, из которого равномерно перекачиваются насосом в линию исходной воды. Кроме экономии воды, тепла и реагентов, это мероприятие позволяет интенсифицировать образование хлопьев вследствие благоприятного влияния взвеси, содержащейся в промывочной воде. Для более глубокого удаления органических веществ из коагулированной воды последнюю после осветлительных фильтров пропускают через сорбционные фильтры, загруженные активированным углем.

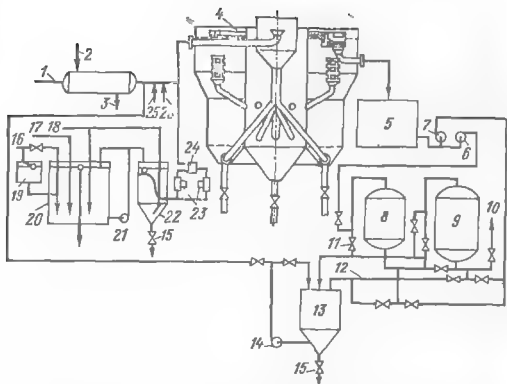


Рис. 7-4 Принципиальная схема коагуляционной установки с осветлителем.

1 — исходная вода, 2 — греющий пар, 3 — конденсат, 4 — осветлитель, 5 — бак коагулированной воды, 6 — насос коагулированной воды, 7 — насос для промывки фильтров, 8 — осветлительный фильтр, 9 — адсорбционный фильтр, 10 — осветленная вода, 11 — сброс промывочной воды, 12 — сброс первого фильтра, 13 — бак для сбора промывочных вод, 14 — насос для перекачки промывочных вод в осветлитель, 15 — дренаж, 16 — техническая вода, 17 — горячая вода или пар для растворения коагулянта, 18 — сжатый воздух для перемешивания, 19 — бачок постоянного уровня, 20 — ячейка мокрого хранения коагулянта, 21 — перекачивающий насос коагулянта, 22 — расходный бак коагулянта, 23 — насосы-дозаторы раствора коагулянта, 24 — воздушный колпак, 25 — ввод хлора, 26 — ввод кислоты или щелочи для создания нужного значения pH.

На рис. 7-5 изображена схема осветлителя ЦНИИ-2, предназначенного для удаления из воды грубодисперсных и коллоидных примесей с применением коагуляции сернокислым алюминием. Корпус осветлителя состоит из двух цилиндров разного диаметра, соединенных переходом, имеющим форму усеченного конуса. Днище осветлителя имеет кольцевую коническую форму. В центральной части осветлителя расположен цилиндрический шламоотделитель с коническим днищем и шламоотводными трубами. Исходная вода 1 подается по трубопроводу в воздухоотделитель 2, предназначенный для удаления из воды воздуха, который может вызвать в осветлителе взмучивание и выпуск шлама. Далее по центральной и распределительным трубам 3, которые заканчиваются

тангенциально расположенными соплами, вода поступает в нижнюю смешительную часть осветителя. Сюда же вводится раствор коагулянта 7. Иногда раствор коагулянта вводится в трубопровод исходной воды. Сопла, расположенные горизонтально, приводят воду во вращательное движение в нижней части осветителя, имеющей кольцевую форму. Такое движение воды способствует перемешиванию ее с реагентами, усиливает контакт вы-

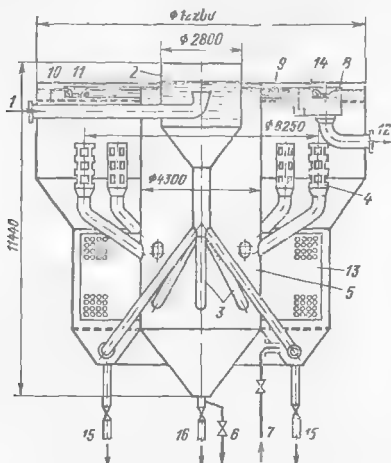


Рис. 75. Схема осветителя ЦНИИ-2.

деляемых из воды примесей с частицами шлама и улучшает условия протекания процессов коагуляции, кристаллизации, сорбции и адгезии. Вращательное движение воды далее гасится смешительными перегородками 13 и переходит в восходящее поступательное движение снизу вверх. Продукты коагуляции, выделяющиеся в виде хлопьев, поддерживаются водой во взвешенном состоянии и образуют зону взвешенного шлама, т. е. контактную

среду, способствующую ускорению и углублению процесса очистки воды. У верхней границы зоны взвешенного шлама вода освобождается от взвешенных хлопьев, проходит через зону осветления и распределительную решетку 10. Затем осветленная вода собирается в желобе 11 и через приемок распределительного устройства 8 отводится по патрубку 12 в промежуточные баки, откуда насосами перекачивается на осветлительные фильтры.

Избыток осадка из зоны взвешенного шлама непрерывно отводится с некоторым количеством воды через шламоотводные трубы 4 в шламоотделитель 5. Шламоотделитель 5, действующий как вертикальный отстойник, отделяет часть поступающей в него воды и подает ее по трубе через задвижку 9 в распределительное устройство 8. Расход этой воды и количество осадка, отводимого из осветлителя, регулируются с помощью задвижки 9 на отводящей трубе и измеряются по величине напора воды над калиброванными отверстиями 14 в перегородке распределительного устройства. Остальная часть воды с повышенной концентрацией шлама непрерывно удаляется в канализацию по трубе 6. Для опорожнения шламоотделителя служит труба 16, а всего осветлителя — труба 15.

На рис. 7-6 приведена схема осветлителя производительностью 350 м³/ч, предназначенного для коагуляции воды на мощных блочных ГРЭС. Конструкция аппарата и расчетные показатели отличаются рядом особенностей и элементов новизны в сравнении с осветлителями типа ЦННН-2 (большая высота зон взвешенного шлама и осветленной воды, меньшая восходящая скорость движения воды в осветлителе и нисходящего движения в шламоотделителе, улучшенные условия отвода воды из шламоотделителя и др.).

В коагуляционных установках с осветлителем растворы реагентов вводятся в обрабатываемую воду с помощью дозаторов, предназначенных для подачи заданного количества реагентов. На водоподготовительных установках постоянной производительности применяются дозаторы постоянного расхода, подающие в единицу времени одно и то же количество раствора коагулянта. На установках с меняющимся часовым расходом воды применяются пропорциональные дозаторы, изменяющие количество подаваемого в воду раствора коагулянта пропорционально изменению расхода осветляемой воды.

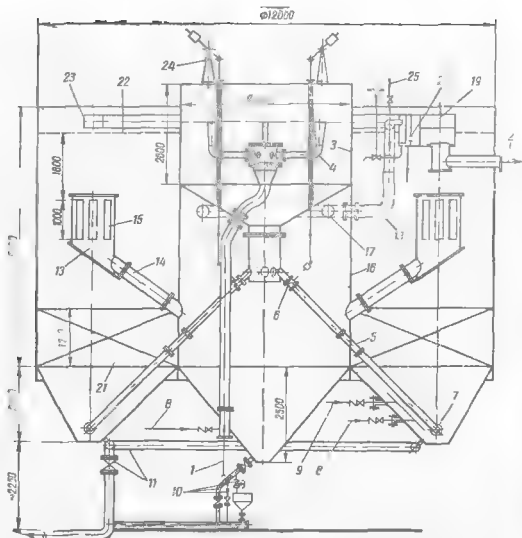


Рис. 7.6 Осветлитель для коагуляции воды расчетной производительности 150 м³/ч

1 и 2 — ввод и вывод воды $d_v=300$ мм, 3 — воздухоотделитель 4 — распределительные трубы в воздухоотделителе, 6 шт., $d_y=150$ мм, 5 — распределительные трубы осветлителя 12 шт., $d_y=150$ мм, 6 — дроссельные заслонки, устанавливаются на шести трубах (через одну трубу), 7 — водяные сопла 8 — ввод раствора коагулянта, $d_y=20$ мм 9 — ввод раствора полиакриламида $d_y=25$ мм; 10 — линия непрерывной продувки и опорожнения шлемоуплотнителя, 11 — коллектор периодической продувки осветлителя 12 — в канализацию; 13 — штампованные трубы, 8 шт., $d_y=100$ мм, 14 — штампованные трубы, $d_y=350$ мм, 15 — штампованные окна, 8 шт. в каждой трубе, 16 — шлемоуплотнитель 17 и 18 — сборный коллектор и труба, отводящая осветленную воду из шлемоуплотнителя с дроссельной заслонкой на ней, 19 — распределительное устройство 20 — измерительные отверстия, 21 — вертикальные смесительные перегородки 8 шт. 22 — верхняя распределительная решетка, 23 — кольцевой желоб для сбора осветленной воды 24 — устройство для управления заслонками 6, 25 — вода на промывку коллектора 17.

В качестве дозаторов растворов коагулянта и щелочных реагентов раньше применялись сифонные дозаторы, дозаторы с подвижной и плавающей трубкой, дозаторы-вытеснители и другие конструкции дозаторов открытого типа. Общим недостатком дозаторов открытого типа является то, что они требуют высотную компоновку водоподготовительной установки, так как должны устанавливаться над осветлителем, в который дозируют раствор реагента, и иметь над собой водораспределитель. Этого недостатка не имеет плунжерный насос-дозатор, что упрощает компоновку осветлителя.

На рис 7-7 изображен горизонтальный одноплунжерный насос-дозатор для раствора коагулянта и известково-

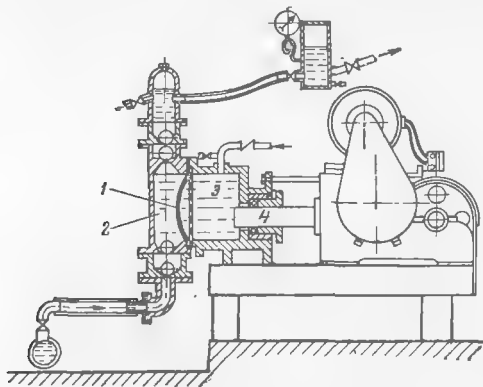


Рис. 7-7 Насос-дозатор плунжерного типа с резиновой диафрагмой.

вого молока с давлением 6 кгс/см^2 производительностью 120, 400, 800 и 1 200 л/ч. Резиновая диафрагма 1, зажатая между корпусом и крышкой, отделяет рабочую камеру 2 от водяной камеры 3. Плунжер 4 приводится в движение от эксцентрика с переменным эксцентриситетом для измененя длины хода плунжера при регулировании дозировки от максимального значения до нуля.

На каждый осветлитель устанавливаются по два насоса-дозатора (рабочий и резервный).

Схема дозирования раствора коагулянта с помощью насоса-дозатора приведена на рис. 7-8. Концентрированный раствор коагулянта, приготовленный в мешалке 3, разбавляется водой до рабочей концентрации и перекачивается с помощью гидроэлеватора 4 в расходные баки 6; из последних через трубопровод 7 и фильтр-сетку 8

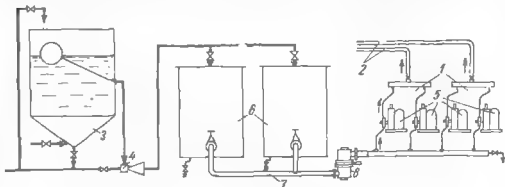


Рис 7 8 Схема дозирования раствора коагулянта с помощью насосов-дозаторов.

он забирается насосами-дозаторами 5 и подается в осветлители через коллекторы 1 по трубопроводам 2.

Регулирование производительности плунжерного насоса-дозатора может осуществляться при применении электродвигателя переменного тока изменением средней скорости вращения путем периодического включения и отключения его. Дозы коагулянта зависят от количества содержащихся в воде примесей, их химического состава, кислотности и температуры воды. При таком многообразии факторов, определяющих дозу коагулянта, она может быть подобрана только опытным путем.

Размеры продувки должны составлять минимум, при котором в шламоотделителе не происходит прогрессирующего образования остаточных отложений взвеси. Верх шламового фильтра должен располагаться в нижней части выходной зоны осветлителя.

Наличие контактной среды в осветлителе улучшает условия коагуляции и оказывает существенное влияние на характер этого процесса. Практика показала, что эффективная работа шламового фильтра в осветлителе позволяет сократить расход реагентов на 25—50%.

Для достижения эффективной и экономичной работы осветлителя необходимо избегать резких колебаний его нагрузки, производить правильное регулирование высоты

шламового фильтра, непрерывную продувку шламоотделителя и бесперебойное правильное дозирование реагентов. Необходимым условием хорошей работы осветлителя является поддержание стабильной температуры обрабатываемой воды, колебания которой не должны превышать $\pm (0,5-1,0)^\circ\text{C}$ в течение часа при постепенном изменении температуры.

7-4. КОАГУЛЯЦИЯ И ОСВЕТЛЕНИЕ ВОДЫ ФИЛЬТРОВАНИЕМ

а) Физико-химические основы фильтрования

Для глубокого удаления из воды грубодисперсных частиц, хлопьев коагулянта и скоагулированных коллоидных частиц применяется фильтрование, т. е. пропуск воды через слой зернистого или пористого материала, загруженного в осветлительные фильтры. При фильтровании воды твердые частицы задерживаются на поверхности или в толще фильтрующего материала. В результате фильтрования происходит осветление воды. При отсутствии предварительной коагуляции в осветлителе вода, содержащая грубодисперсную взвесь, образует фильтрующую пленку на поверхности фильтрующего материала. Если же применяется предварительная коагуляция в осветлителе, в котором задерживается основная масса взвеси, и на фильтры поступает вода, содержащая мельчайшие взвешенные частицы, фильтрование идет не на поверхности, а в толще фильтрующего слоя. При таком процессе полнее используется вся толща зернистой загрузки фильтра и обеспечивается высокая степень осветления.

На основании результатов глубокого изучения физической природы, механизма и закономерностей процесса осветления воды при движении ее через зернистые загрузки осветлительных фильтров установлено, что процесс фильтрования имеет физико-химическую природу, а эффект осветления воды при фильтровании объясняется прилипанием взвешенных частиц к зернам фильтрующего слоя и ранее прилипшим частицам под действием молекулярных сил притяжения. По своей физической сущности процесс взаимодействия и слипания разнородных частиц, значительно различающихся своими разме-

рами, является коагуляционным, причем устойчивость и прилипание мелких частиц к крупным значительно выше, чем интенсивность взаимного слипания мелких частиц, так как вероятность попадания мелкой частицы в сферу притяжения крупной частицы значительно больше, чем вероятность столкновения мелких частиц. Явление прилипания мельчайших частиц, содержащихся в воде, к поверхности зерен фильтрующего материала получило название контактной коагуляции.

Сооружения, специально предназначенные для очистки воды с использованием явлений контактной коагуляции, называются контактными осветлителями, в них вода сразу после смешивания с коагулянтом проходит через слой песка. За короткий промежуток времени от момента поступления воды в фильтрующий слой в воде успевают образоваться лишь микроразмеры слипшихся частиц, которые прилипают к поверхности зерен песка.

Такой же процесс имеет место при фильтровании воды через фильтры после коагулирования и предварительного осветления. Вместе с водой в фильтры поступают мелкие хлопья, не успевшие осесть в отстойниках или осветлителях. При фильтровании эти хлопья прилипают к зернам фильтрующего материала и осветляют воду. Основным фактором, определяющим эффект осветления воды фильтрами, является не соотношение размеров частиц, поступающих на фильтр, и пор в фильтрующем слое, как это предполагалось раньше, а способность частиц прилипать к поверхности зерен загрузки фильтров, которая является результатом химической обработки воды коагулянтом. Опыт показывает, что при фильтровании устойчивой суспензии, не обработанной коагулянтом, даже довольно крупные частицы свободно проходят через весь фильтрующий слой. Наоборот, при фильтровании коагулированной воды в фильтрующем слое задерживаются частицы любых размеров вплоть до мельчайших, чем достигается высокий эффект осветления воды при сравнительно высоких скоростях фильтрования. Таким образом, принцип скорой фильтрации заключается в фильтровании неустойчивой коагулирующей суспензии. Это же явление лежит в основе рассмотренного выше технологического процесса осветлителей со взвешенным осадком.

На рис. 7-9 дано графическое изображение характера протекания процесса осветления воды по высоте фильтрующего слоя в зависимости от времени после начала фильтрования. Кривая 1 характерна для начала процесса t_1 , когда осветление воды происходит на участке толщиной x_0 . На остальной части фильтрующего слоя толщиной $(l-x_0)$ концентрация взвеси изменяется незначительно, так как после извлечения из воды всех способных к прилипанию частиц в ней остаются устойчивые частицы, которые плохо задерживаются фильтрами. С течением времени по мере накопления осадка в фильтрующем слое роль его верхних слоев, как показывают кривые 2, 3 и 4, уменьшается, и после предельного насыщения их осадком они перестают осветлять воду.

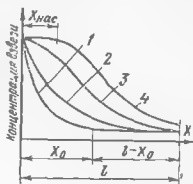


Рис. 7-9. Ход процесса осветления воды при фильтровании

С уменьшением роли верхних слоев возрастает роль слоев загрузки, расположенных ниже, а толщина загрузки, участвующая в осветлении воды, увеличивается. Когда вся толщина загрузки окажется недостаточной для обеспечения требуемой полноты осветления воды, концентрация взвеси в фильтрате будет быстро возрастать. Толщина слоя загрузки, которая к моменту времени t_4 находится в состоянии предельного насыщения, обозначена через $x_{нас}$. Интенсивность задержания взвеси каждым элементарным слоем загрузки с течением времени уменьшается; это влияние объясняется тем, что отложения на поверхности зерен загрузки образуют характерную для геля рыхлую сетчатую структуру, которая является весьма непрочной. В результате действия гидродинамических сил, возникающих при движении воды, структура отложений разрушается, и некоторая часть ранее прилипших частиц отрывается от зерен в виде мелких хлопьев и проносится в следующие слои загрузки где вновь задерживается. Таким образом, эффект осветления воды каждым элементарным слоем фильтрующего материала является суммарным результатом двух противоположных процессов: прилипания извлеченных из воды частиц к поверхности зерен загрузки и отрыва под

действием гидродинамических сил потока прилипших ранее частиц, обратно поступающих в воду. Эти два процесса обуславливают кинетику фильтрации воды, загрязненной взвешенными частицами: изменение концентрации взвеси в воде и количества отложений в толще фильтрующего слоя с течением времени. Осветление и накопление осадка в каждом элементарном слое фильтра происходит до тех пор, пока прилипание частиц идет быстрее, чем их отрыв. С накоплением осадка отрыв частиц увеличивается, и, когда насыщение элементарного слоя приблизится к предельному, слой перестанет осветлять воду.

В верхних слоях загрузки фильтра задерживается наибольшее количество взвеси, и эти слои раньше других могут оказаться в состоянии предельного насыщения. Постепенно область предельного насыщения распространяется в глубь загрузки. Одновременно в глубь загрузки перемещается и область интенсивного изменения концентрации взвеси в воде.

Интенсивность работы осветлительных фильтров характеризуется скоростью фильтрования, выраженной в $\text{м}^3/\text{ч}$ и численно равной часовой производительности 1 м^2 сечения фильтра [$\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$]. Скорость фильтрования можно вычислить по формуле

$$W = Q/F, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где Q — часовое количество фильтруемой воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; F — площадь фильтрования, м^2 .

Фильтрование воды происходит за счет разности давления над h' и под h'' фильтрующим слоем: $\Delta h = h' - h''$. Величина Δh называется перепадом давлений или потерей напора в фильтре. Потеря напора в фильтрующем слое или сопротивление этого слоя тем больше, чем больше скорость фильтрования, высота фильтрующего слоя и степень засорения последнего загрязнениями, удаляемыми из воды, и чем меньше размеры зерен фильтрующего материала и температура фильтруемой воды. Процесс осветления воды фильтрованием сопровождается увеличением гидравлического сопротивления фильтра вследствие накопления в нем задержанной взвеси и уменьшения свободного объема пор между зернами фильтрующего материала. Потеря напора при этом повышается от некоторой наименьшей величины, соответ-

ствующей чистому слою и равной 0,4 м вод. ст., до максимально допустимой, составляющей 3 м вод. ст. для безнапорных и 10 м вод. ст. для напорных осветлительных фильтров.

По мере увеличения сопротивления фильтра уменьшаются скорость фильтрования и производительность фильтра. Поэтому для обеспечения необходимой производительности фильтра приходится периодически увеличивать перепад давлений в нем путем увеличения степени открытия задвижки на трубопроводе подвода воды к фильтру. При достижении максимально допустимого загрязнения, характеризуемого предельно допустимой потерей напора, фильтр выключается из работы на взрыхляющую промывку, которая состоит в пропуске через него осветленной воды снизу вверх. Период работы фильтра от начала одной промывки до начала следующей называется фильтроциклом. Продолжительность фильтроцикла $T+t$ складывается из полезной работы фильтра между промывками T и продолжительности выключения фильтра на промывку t . Величина $T+t$ зависит от удельной грязеемкости фильтров (т. е. от количества килограммов загрязнений, задержанных фильтром за цикл, отнесенного к 1 м³ фильтрующей загрузки), основных размеров фильтра (площади фильтрования и высоты фильтрующей загрузки), концентрации взвешенных веществ в фильтруемой воде и часовой производительности фильтра.

б) Осветлительные фильтры

Осветлительные фильтры, применяемые на водоподготовительных установках тепловых электростанций, схемы которых приведены на рис. 7-10, классифицируются по следующим признакам: 1) по типу — на вертикальные ($a-k$) и горизонтальные ($л, м$); 2) по давлению воды над фильтрующим слоем — на самотечные или открытые (a), работающие под напором, создаваемым разностью уровней воды в фильтре и сборном баке осветленной воды, и напорные или закрытые ($б-м$), работающие под напором, создаваемым насосом или высоко расположенным баком; 3) по количеству последовательно работающих фильтрующих слоев — на однослойные ($a, б, в, е, ж, л, м$) и двухслойные ($г, д$); 4) по числу параллельно работающих камер — на однокамерные (a ,

б, в, д, л, м), двухэтажные (е), двухкамерные (г, ж), грейкамерные (з) и батарейные (и, к); 5) по способу фильтрования — на однопоточные (а, б, г, д, л) и двухпоточные (в, м).

Наиболее широкое применение на тепловых электростанциях получили вертикальные напорные однопоточные фильтры диаметром до 3 400 мм, определяемым габаритами транспортабельности, с предельной производи-

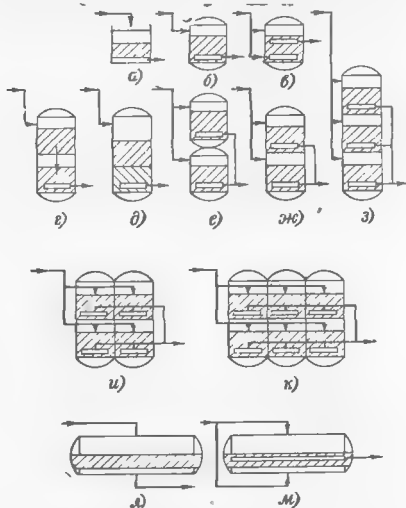


Рис. 7-10. Принципиальные схемы осветлительных фильтров.

тельностью до $90 \text{ м}^3/\text{ч}$. На рис. 7-11 показана конструкция однопоточного вертикального осветлительного фильтра. Корпус такого фильтра представляет собой стальной цилиндр со штампованными сферическими днищами, рассчитанный на давление $6 \text{ кгс}/\text{см}^2$. В верхнюю часть фильтра введены труба 1 с воронкой 8 для подвода и

распределения по площади фильтра фильтруемой воды и труба 9 для отвода воздуха. В цилиндрической части корпуса имеются люки 10 и 11 для осмотра и ремонта фильтра и для выгрузки фильтрующего материала. Нижнее днище заполнено бетоном 4 для создания горизонтальной плоскости, на которой располагается дренажное устройство 5, предназначенное для равномерного распределения воды по площади фильтра, отвода 2 осветленной воды из-под фильтрующего слоя и предотвращения выноса из фильтра вместе с осветленной водой зерен фильтрующего материала 7. Над дренажным устройством

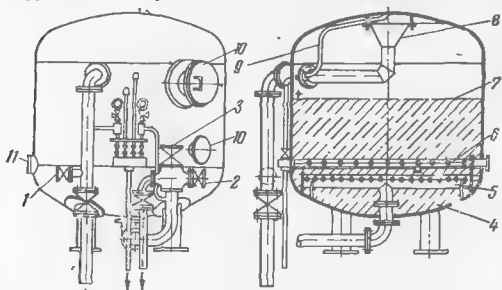


Рис. 7-11. Напорный осветлительный фильтр.

установлено аналогичное распределительное устройство 6 для сжатого воздуха. Через задвижку 3 подается вода для взрыхляющей промывки фильтрующего слоя.

Дренажное устройство является весьма важным элементом осветлительного фильтра. Наиболее широкое распространение получили колпачковые дренажные устройства, в которых на ниппели стальных распределительных труб навинчиваются щелевые дренажные колпачки, имеющие различные конструкции. На рис. 7-12 показан фарфоровый дренажный колпачок, который достаточно стоек против истирания крупным песком при промывке фильтра. В последнее время все более широкое распространение приобретает бесколпачковое трубчато-щелевое дренажное устройство, которое является наиболее про-

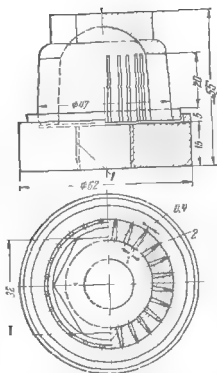


Рис 7-12. Дренажный щелевой фарфоровый колпачок.
1 — резьба, 2 — щель

стым и прочным и представляет собой коллектор с боковыми распределительными трубками из винилпласта, полиэтилена или нержавеющей стали с прорезанными в них вертикально или наклонно щелями шириной 0,5 мм. Во избежание нежелательного уноса в дренаж фильтрующего материала при взрыхляющей промывке фильтра на сливной линии устанавливаются специальные ограничители скорости промывки), которые выполняются или в виде вращающейся в трубе заслонки, степень открытия которой регулируется поплавком, или в виде дроссельной шайбы.

Разработанные в последние годы двух- и трехкамерные фильтры (рис. 7-13) разделены на две или три камеры плоскими промежуточными днищами, рас-

считанными из условия возможного перепада давлений в соседних камерах, равного 1 кгс/см^2 . Плоские днища имеют анкерные трубы для обеспечения необходимой жесткости. В этих трубах в верхних зонах камер имеются щели для выравнивания давления в камерах фильтров. На верхнем сферическом днище установлен вантуз для автоматического удаления воздуха из фильтра.

Преимуществом двух- и трехкамерных фильтров по сравнению с однокамерными является то, что они при одном и том же диаметре имеют вдвое и втрое большую производительность, что создает возможность лучшего использования площади пола и кубатуры помещения водоподготовительной установки. Кроме того, благодаря меньшему количеству сферических днищ камерные фильтры получаются легче, чем два-три однопочтовых фильтра той же суммарной производительности: двухкамерный фильтр типа ж (рис. 7-11) легче, чем двухэтажный фильтр типа е той же производительности.

Еще более компактными осветлительными фильтрами являются четырехкамерный (рис. 7-10,и) и шестикамерный (рис. 7-10,к) батарейные фильтры большой производительности (364 и 546 м³/ч), созданные путем объединения двух и трех двухкамерных фильтров диаметром 3 400 мм, установленных вплотную и имеющих общий

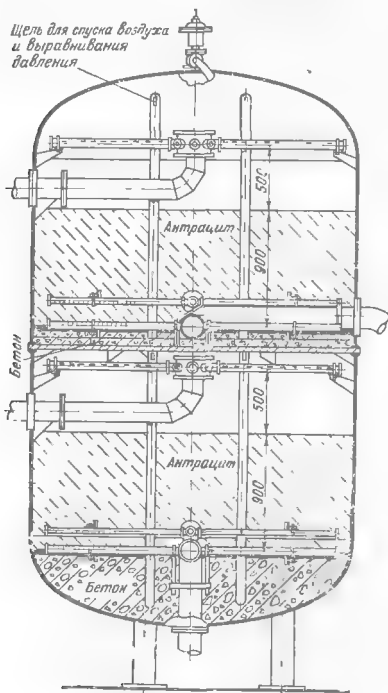


Рис 7-13. Двухкамерный осветлительный фильтр.

фронт трубопроводов и арматуры. При этом все камеры работают параллельно, но предусмотрена возможность отдельного отключения каждого из фильтров для промывки фильтрующей загрузки. При такой конструкции уменьшаются количество установленных фильтров, удельная кубатура здания водоподготовительной установки, количество потребной арматуры и средств дистанционного управления фильтрами.

На водоподготовительных установках в последние годы начали широко применяться двухслойные осветлительные фильтры большой грязеемкости (рис. 7-10, д). После загрузки этих фильтров кварцевым песком и взрыхляющей промывки последнего из них удаляется верхний слой высотой 200—300 мм наиболее мелкого песка, оставляя нижний слой загрузки с размером зерен 0,65—0,75 мм, на который загружается слой дробленого антрацита высотой 500 мм с размером зерен 1,0—1,25 мм. В результате такой замены фильтрующая пленка на поверхности антрацита образовываться не будет, а содержащиеся в воде взвешенные вещества будут проникать в поры слоя дробленого антрацита и задерживаться на поверхности его частиц и лежащем ниже слое кварцевого песка. Так как плотность антрацита почти в 1,5 раза меньше плотности кварцевого песка, слой дробленого антрацита может состоять из более крупных зерен, чем зерна лежащего ниже кварцевого песка, без опасности перемешивания их во время взрыхляющей промывки. Такие фильтры могут применяться только в тех случаях, когда допустимо использование кварцевого песка в качестве фильтрующего материала.

в) Фильтрующие материалы

Материал, загружаемый в осветлительные фильтры, должен хорошо задерживать содержащиеся в осветляемой воде грубодисперсные вещества, легко отмываться от задержанной взвеси, не измельчаться и не истираться при промывке, быть стойким против химического воздействия на него фильтруемой воды и не загрязнять фильтруемую воду какими-либо веществами, входящими в состав самого материала. В качестве материалов, отвечающих этим требованиям, наиболее широкое применение получили кварцевый песок и дробленый антрацит. Кварцевый песок обычно применяется на коагуляционных

установках, предназначенных для подготовки добавочной питательной воды парогенераторов низкого и среднего давлений при температуре не выше 60°C и значении pH не выше 9. Применять кварцевый песок в осветлительных фильтрах для подготовки добавочной питательной воды парогенераторов высокого давления нецелесообразно ввиду опасности загрязнения фильтрата кремниевой кислотой. Поэтому на водоподготовительных установках тепловых электростанций с давлением 100 кгс/см^2 и выше в качестве фильтрующего материала применяется малозольный термостойкий дробленый антрацит при температуре до 100°C и значении pH в пределах от 4 до 10.

Крупность и степень неоднородности фильтрующего материала, высушенного при 105°C , определяются ситовым анализом на ряде калиброванных сит. Для загрузки фильтров рекомендуется среднезернистый песок с размерами зерен $0,35\text{--}1,5 \text{ мм}$ и крупнозернистый песок с размерами зерен $0,4\text{--}2,0 \text{ мм}$. В частности, в фильтрах, предназначенных для осветления некоагулированной воды или же воды, обработанной коагулянтами в осветлителе, принимается слой фильтрующей загрузки высотой $0,9\text{--}1,2 \text{ м}$ с зернами диаметром $0,5\text{--}1,0 \text{ мм}$. При подаче на фильтры коагулированной воды без ее предварительного отстаивания высота слоя фильтрующей загрузки принимается в пределах $1,2\text{--}2,0 \text{ м}$ с размерами зерен $1,0\text{--}1,5 \text{ мм}$.

Важным показателем качества фильтрующего материала является его механическая прочность. При недостаточной механической прочности при взрыхляющей промывке происходит истирание и измельчение зерен, в результате чего повышается гидравлическое сопротивление фильтрующей загрузки, происходят вынос измельченных зерен при промывке и безвозвратная потеря фильтрующего материала.

г) Эксплуатация осветлительных фильтров

Работа осветлительных фильтров состоит из трех периодов: полезной работы фильтра по осветлению воды, взрыхляющей промывки фильтра и спуска первого фильтрата в дренаж. Эксплуатация фильтра в межпромывочный период состоит в наблюдении за прозрачностью воды после пропуска ее через фильтр, производительностью фильтра и изменением его гидравлического сопротивления (величиной потери напора). Для этого на линиях осветляемой и осветленной воды установлены пробоборные краны и манометры, а на линиях промывочной и осветленной воды — расходомеры.

При снижении прозрачности осветленной воды, а также при достижении максимально допустимой потери напора фильтр выводится из работы на промывку. Промывка фильтра заключается в пропуске через него осветленной воды снизу вверх. Для этого сначала фильтр выключается из работы, а затем подается вода из промывочного бака. Интенсивный поток промывочной воды, поднимаясь, разрыхляет и взвешивает весь фильтрующий слой, расширяющийся при этом на 40—50%, что дает возможность зернам загруженного фильтрующего материала свободно двигаться в потоке воды и при столкновениях счищать прилипшие к ним частицы шлама и слизи.

Скорость воды при взрыхляющей промывке характеризуется интенсивностью промывки, под которой подразумевается секундный расход воды в литрах через 1 м² сечения фильтра [л/(м²·сек)]. Промывка фильтра должна проводиться с такой интенсивностью, которая, обеспечивая вымывание осадков, не приводит к выносу зерен фильтрующего материала. Величина интенсивности промывки зависит от рода материала, размера его зерен, температуры промывочной воды и обычно составляет 15—18 л/(м²·сек) для кварцевого песка и 10—12 л/(м²·сек) для дробленого антрацита. Контроль за интенсивностью промывки осуществляется по расходу промывочной воды, измеряемому расходомером. Продолжительность промывки составляет 6 мин. По окончании взрыхляющей промывки первый, чуткий фильтрат спускается в канализацию со скоростью 5 м/ч в течение 5—10 мин, после чего фильтр включается в нормальную работу. Во время работы фильтра постепенно заполняется осветленной водой промывочный бак. Продолжительность остановки фильтра на промывку и спуск первого фильтрата со всеми переключениями задвижек составляет около 20 мин.

Скорость фильтрования воды в напорных осветлительных фильтрах, загруженных кварцевым песком или дробленым антрацитом, при предварительной обработке воды в осветлителях составляет 5—6,5 м/ч, а без предварительной обработки ее 4—5 м/ч.

Удельная гряземкость фильтрующих материалов в однопоточных фильтрах без предварительной обработки воды перед фильтрами составляет для кварцевого песка 0,75 кг/м³, для дробленого антрацита 1,0 кг/м³; при

предварительной обработке воды в осветлителе удельная грязеемкость соответственно 1,25 и 1,5 кг/м³. С точки зрения экономичности работы установки и удобства обслуживания фильтров продолжительность фильтроцикла должна быть не менее 8 ч, а количество установленных фильтров не меньше трех.

Для уменьшения расхода воды на собственные нужды и повышения эффективности промывки иногда применяются устройства для верхней промывки фильтров, которые представляют собой систему дырчатых труб, уложенных на 50—75 мм выше поверхности фильтрующего слоя. Подводимая в устройство промывочная вода, проходя через отверстия, размывает пленку задержанной взвеси.

Эксплуатация осветлительных фильтров значительно облегчается применением автоматической системы управления их работой.

7-5. ОБЕЗМАСЛИВАНИЕ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОНДЕНСАТОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЭЦ

Очистка загрязненного маслом отработавшего пара производится путем пропуска его через маслоотделительные аппараты различных конструкций. Общим для всех конструкций механических маслоотделителей является использование их развитой поверхности для осаждения капелек масла, поступающих вместе с паром. Для повышения эффекта обезмасливания пара механические маслоотделители дополняются паропромывочными устройствами.

На рис. 7-14 изображена принципиальная схема комбинированной установки для обезмасливания пара. Загрязненный пар 1 подается со скоростью 5 м/сек в набивкоуловитель 2, где происходит удаление из пара волокон сальниковой набивки, а также крупных капель масла и влаги. Очистка пара от волокон набивки необходима во избежание попадания их в механические маслоотделители, откуда их трудно извлечь. После набивкоуловителя пар проходит через механический маслоотделитель 3, в котором маслосодержание пара снижается до 5—10 мг/кг. Для достижения более высокого эффекта обезмасливания пар в специальном паропромывателе 4 пропускается через слой конденсата с хлопьями

гидрата окиси алюминия, обладающими способностью адсорбировать вносимое с паром масло, в результате чего содержание его в паре снижается до 2—3 мг/кг. Для удаления из паропромывателя хлопьев гидрата окиси алюминия, насыщенных маслом и потерявших свою активность, часть конденсата откачивается насосом 5 из паропромывателя, фильтруется через осветлительный фильтр 6 и после осветления возвращается в паропромыватель. Гидрат окиси алюминия готовится в смесителе,

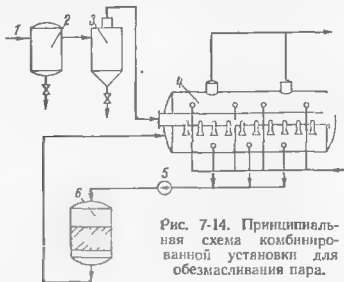


Рис. 7-14. Принципиальная схема комбинированной установки для обезмасливания пара.

куда одновременно вводятся растворы сернокислого алюминия и едкого натра. Расход сернокислого алюминия составляет 300 г/т пара.

Сбор конденсата и предварительная очистка его от масла осуществляются потребителями пара в сборном баке-отстойнике и осветлительных фильтрах. Окончательное обезмасливание завершается на ТЭЦ в сорбционных фильтрах первой и второй ступеней (рис. 7-15). В баки-отстойники 4 конденсат подводится по трубе 1 через регулирующие задвижки 2, 3 снизу во избежание соприкосновения его с воздухом. Для защиты конденсата от воздуха бак снабжен поплавком 5, свободно плавающим на поверхности конденсата и отстоящим от стенок не более чем на 10—15 мм. В баке-отстойнике крупные капли масла всплывают на поверхность, что позволяет производить последующее глубокое обезмасливание конденсата.

Отсепарированное масло периодически отводится с поверхности конденсата с помощью переливных лотков и воронок, помещенных в верхней части отстойника, а затем после обезжиривания центрифугированием оно может быть вновь использовано по своему назначению. Осветленный хлопьями салянковой набивки с адсорбированным маслом и шлам отводится из нижней конической части отстойника. Частично обезмасленный в отстойнике конденсат пропускается насосом 6 через осветлительные фильтры 7

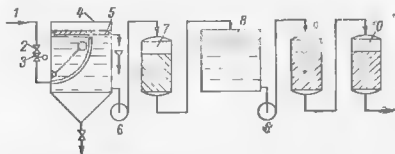


Рис 7-15 Принципиальная схема установки для глубокого обезмасливания производственного конденсата.

для удаления взвешенных в нем капелек масла. В качестве фильтрующего материала применяются дробленый кокс (нефтяной или каменноугольный), антрацит или термoантрацит с диаметром зерен 1—2 мм при высоте фильтрующего слоя 1,2—1,5 м.

Для повышения эффекта обезмасливания в фильтрующий слой вводится гидроокись алюминия, приготовленная в отдельном бачке путем смешивания растворов $Al_2(SO_4)_3$ и $NaOH$ с последующей отмычкой гидроокиси обезмасленным конденсатом от Na_2SO_4 . Такой способ применения коагулянта не приводит к повышению солеудержания обезмасливаемого конденсата. Как и при обезмасливании пара в пароремывателе, роль гидроокиси алюминия, введенной в фильтрующий слой, состоит в адсорбции каелек масла из конденсата. Зарядка фильтра свежей гидроокисью алюминия производится не чаще 1 раза в сутки.

При фильтровании через осветлительные фильтры содержание масла в конденсате снижается до 2—3 мг/кг. Остальное количество масла в конденсате находится в форме тонкодисперсной эмульсии, способной проходить через осветлительный фильтр.

От потребителей пара конденсат поступает на ТЭЦ в сборные баки 8, из которых он забирается насосом 6 и подается на сорбционные фильтры 9 и 10 для окончательного более глубокого обезмасливания. Сорбционные

обезмасливающие фильтры загружаются активированным углем. Диаметр зерен его составляет 1,0—3,5 мм, влажность — не более 10%, высота слоя угля 2000 мм. Конструкция сорбционных угольных фильтров отличается от конструкции осветлительных фильтров отсутствием распределительного устройства для подачи сжатого воздуха. Кроме того, в отличие от осветлительных фильтров конструкция верхнего распределительного устройства угольных фильтров выполнена в виде звезды из труб со щелевыми фарфоровыми колпачками, предотвращающими потерю рабочих фракций активированного угля, легко всплывающих при взрыхляющей промывке фильтра вследствие малой плотности зерен угля.

В целях обеспечения более глубокого обезмасливания конденсата и лучшего использования активированного угля целесообразно устанавливать последовательно два сорбционных фильтра, осуществляя двухступенчатую схему сорбционного обезмасливания конденсата. При содержании масла перед сорбционными фильтрами не выше 5 мг/кг и скорости фильтрования в пределах 3—5 м/ч содержание масла в фильтрате после первой ступени снижается до 1—2 мг/кг, а после второй ступени до 0,5—1,0 мг/кг. Маслосодержание активированного угля при температуре фильтруемого конденсата 90—100°C равно 25—35%, а при 50—60°C 15—25% веса сухой загрузки.

При фильтровании через активированный уголь обезмасливаемого конденсата жесткость последнего возрастает до 0,05—0,2 мг-экв/кг в зависимости от зольности активированного угля и температуры конденсата. В связи с этим на электростанциях высокого давления возникает необходимость подвергать умягчению конденсат, обезмасленный активированным углем.

Для обезмасливания и осветления конденсата иногда применяются аппараты с фильтрующими и отмывными элементами, представляющие собой специальные каркасы, на поверхности которых перед началом фильтроцикла наносится слой фильтрующего порошка путем пропуска через фильтр его суспензии в обрабатываемом конденсате. В качестве фильтрующих элементов применяются цилиндры из пористой керамики (рис. 7-16) или металлические каркасы, обтянутые стальной сеткой, на которой крепится фильтрующая ткань. Для намыва применяются порошкообразный диатомит и активированный уголь. Порошок, образующий фильтрующую пленку, вводится в об-

рабатываемый конденсат в течение всего фильтроцикла. В начальный период доза порошка бывает большей, чем в течение всего остального времени работы фильтра. По мере увеличения толщины фильтрующей пленки растет сопротивление фильтра. По достижении предельной потери напора, равной $2-3 \text{ кгс/см}^2$, фильтр промывается конденсатом в направлении, обратном движению его при осветлении, а затем в фильтр вводится суспензия для образования на фильтрующей поверхности свежего слоя сорбента. Скорость фильтрования в диатомитовых фильтрах находится в пределах $2-5 \text{ м/ч}$.

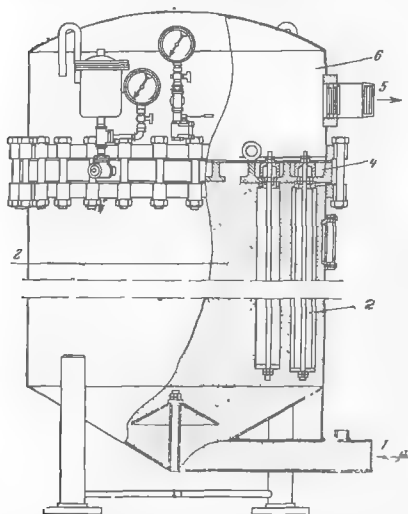


Рис 7.16 Схема диатомитового фильтра с трубчатыми фильтрующими элементами.

1 — подиол замасленного конденсата 2 — камера осветляемого конденсата 3 — фильтрующие трубчатые элементы 4 — разделительная плита 5 — фильтрат 6 — камера осветленного конденсата

При содержании масла в поступающем на фильтр конденсате, не превышающем 10—15 мг/кг, содержание масла в конденсате на выходе из диатомитового фильтра составляет 0,05—0,1 мг/кг.

Продолжительность фильтроцикла в среднем составляет 2 недели. Недостатком диатомитовых фильтров является обогащение фильтрата кремниевой кислотой (до 0,2 мг/кг SiO_3^{2-}). Это приводит к необходимости подвергать обезмасленный конденсат обескремниванию.

7-6 ГЛУБОКАЯ ОЧИСТКА КОНДЕНСАТОВ ОТ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ПРОДУКТОВ КОРРОЗИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТЭС СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Как турбинный, так и производственный конденсаты обычно бывают загрязнены оксидами железа и меди, которые попадают в них в результате коррозии трубопроводов, баков и конденсаторов. Окислы железа Fe_3O_4 , Fe_2O_3 и гидроокиси $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$ находятся в конденсате в грубодисперсном и коллоиднодисперсном состоянии. Наряду с ними в конденсате содержатся также соединения железа, находящиеся в растворенном состоянии.

Образовавшиеся при монтаже и предпусковой стоянке парогенератора окислы железа переходят при эксплуатации в мелкокристаллический магнитный шлак $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, который преобладает в продуктах коррозии. В его кристаллическую решетку внедряются или адсорбируются окислы немагнитных металлов меди, никели, хрома, цинка, марганца и др. Концентрация продуктов коррозии в турбинном конденсате при первоначальных пусках новых блоков даже после предпусковых промывок составляет 1,5—3,0 мг/кг Fe и 0,02—0,1 мг/кг Cu, в конденсатах внешних потребителей пара 0,1—0,5 мг/кг Fe, в конденсатах регенеративных подогревателей низкого давления 0,05—5,0 мг/кг Fe и 0,05—1,5 мг/кг Cu.

В целях предотвращения образования отложений окислов железа и меди в парогенераторах и в проточной части турбин на ТЭС с КД применяются обезжелезивание конденсатов и очистка их от окислов меди.

Фильтрация конденсата через дробленый антрацит и другие зернистые материалы позволяет удалить из не-

го лишь грубодисперсные частицы окислов железа и может применяться только как первая ступень обезжелезивания конденсата.

Более глубокое обезжелезивание конденсатов производится путем фильтрования их через слой целлюлозы, обработанной разбавленной соляной кислотой. Для этой цели применяются намывные целлюлозные фильтры.

На рис. 7-17 показан намывной целлюлозный фильтр производительностью 300 м³/ч на рабочее давление

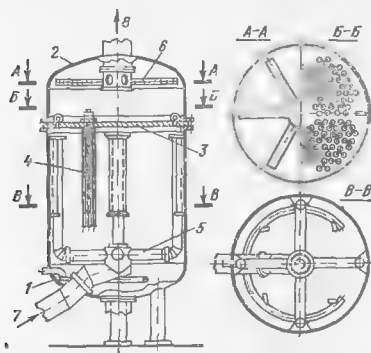


Рис. 7-17. Намывной целлюлозный фильтр.

1 — нижняя часть фильтра 2 — верхняя часть фильтра;
3 — трубная доска; 4 — фильтрующие намывные элементы;
5 — распределительная система для намыва целлюлозы и подечи конденсата, 6 — распределительное устройство для сбора конденсата; 7 — подвод конденсата и целлюлозной пульпы, 8 — выход конденсата и фильтрата при намыве целлюлозы.

6 кгс/см² для очистки турбинного конденсата от продуктов коррозии. Фильтр состоит из цилиндрического корпуса с эллиптическими днищами и трубной доски, зажатой между фланцами, в которую вставлены фильтрующие элементы, каждый из которых состоит из четырех патронов и стакана, скрепленных стяжным болтом. Патрон представляет собой каркас, на который навита сп-

раль из проволоки диаметром 0,8 мм с зазором между витками 0,2 мм. Эта спираль образует фильтрующую поверхность патрона. Весь элемент изготавливается из нержавеющей стали.

Цикл работы намывного целлюлозного фильтра включает следующие операции: 1) приготовление целлюлозной пульпы и ее намыв на проволочные элементы; 2) фильтрация исходного конденсата; 3) удаление отработанной целлюлозы с помощью промывочной воды и сжатого воздуха. Намыв целлюлозы производится по замкнутому контуру: гидромешалка — насос — фильтр — гидромешалка. При намыве целлюлозная пульпа поступает в специальную распределительную систему, расположенную в нижней камере фильтра. Эта система состоит из четырех горизонтальных труб диаметром 159 мм и пяти вертикальных труб диаметром 133 мм с отверстиями диаметром 15 мм. Высокие скорости выхода пульпы из отверстий горизонтальных труб гасятся нижним дном, а из отверстий вертикальных труб — специальными дырчатыми кожухами. Через эту же распределительную систему осуществляется подвод обрабатываемого конденсата. В верхней камере фильтра имеется распределительное устройство типа «звезда» из шести труб диаметром 133 мм с отверстиями диаметром 15 мм для отвода отработанного конденсата из фильтра. Это распределительное устройство служит также для подачи промывочной воды и сжатого воздуха при удалении отработавшей целлюлозы из фильтра.

Правильно и равномерно намытый целлюлозный фильтр обеспечивает практически полное удаление окислов железа и меди, находящихся во взвешенной форме.

Для удаления из конденсата продуктов коррозии могут также быть использованы магнитные фильтры, установленные перед катионитными фильтрами. Магнитные фильтры улавливают грубодисперсные магнитные частицы. Частицы же окислов железа в коллоиднодисперсной форме, прошедшие магнитное поле, намагничиваются и слипаются в процессе магнитной коагуляции, где движущими силами в отличие от процесса химической коагуляции являются не электростатические силы, а магнитные. Намагниченные коагулированные частицы, прошедшие магнитный фильтр, задерживаются в фильтрующем слое катионитного фильтра и притягивают другие

вною поступающие магнитные частицы. Важно отметить, что магнитный шлам наряду с включенными в него окислами немагнитных металлов содержит масло, попавшее в цикл при монтаже, эксплуатации и ремонте оборудования.

На рис. 7-18 показан электромагнитный фильтр производства мощностью 1000 т/ч, заполненный шариками диаметром 6 мм, изготовленными из мягкой стали типа армко или из специальной магнитной стали, содержащей никель и алюминий. Высота слоя 1000 мм. Цилиндрический корпус с эллиптическими днищами изготовлен из аустенитной (немагнитной) стали. Корпус фильтра заключен в электромагнитную катушку, за счет которой в шариках создается магнитное поле. Фильтрация конденсата производится снизу вверх со скоростью 1000 м/ч. При начальном содержании окислов железа в конденсате порядка 15–20 мг/кг эффект обезжелезивания достигает 90%. Вместе с ферромагнитными грубодисперсными загрязнениями частично осаждаются и немагнитные соединения.

Железоемкость фильтра составляет 2 г/кг шариковой загрузки, что позволяет производить удаление задержанных фильтром продуктов коррозии не чаще 1 раза в неделю. Этот процесс осуществляется путем снятия с фильтра магнитного поля выключением электрического тока с обмотки и проведения кратковременной промывки фильтра, общая продолжительность которой не превышает 20 сек, что дает возможность обходиться без резервных фильтров.

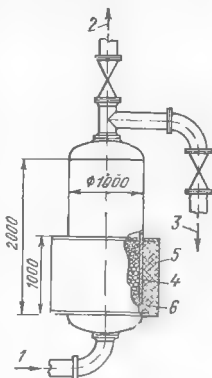


Рис. 7-18 Схема электромагнитного фильтра, заполненного стальными шариками.

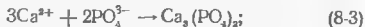
1 — вход конденсата; 2 — выход конденсата; 3 — слив конденсата в дренаж при отмывке фильтра от задержанных продуктов коррозии; 4 — стальные немагнитные шары; 5 — электрическая катушка для создания магнитного поля; 6 — корпус фильтра, изготовленного из немагнитной стали.

СНИЖЕНИЕ ЩЕЛОЧНОСТИ, УМЯГЧЕНИЕ И ОБЕСКРЕМНИВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ

8-1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Умягчение воды методом осаждения накипеобразователей заключается в обработке исходной воды такими реагентами, как $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3 , NaOH , Na_3PO_4 , анионы которых образуют с катионами Ca^{2+} и Mg^{2+} трудно растворимые соединения: карбонат кальция CaCO_3 , гидрат окиси магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$, фосфат кальция и магния $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, которые отделяются от умягченной воды сначала в виде осадка в осветлителях, а затем в осветлительных фильтрах.

При обработке воды содой, известью, гидроокисью натрия и тринатрийфосфатом протекают следующие процессы:



Методом осаждения не удастся получить достаточно полного умягчения природной воды. Поэтому на ТЭС обычно применяются комбинированные схемы, в которых предварительная обработка воды (предочистка) осуществляется методом осаждения, а окончательная — методом ионного обмена. В этих схемах предочистка используется главным образом для снижения щелочности воды в целях уменьшения непрерывной продувки парогенераторов, для чего применяется обработка воды известью, сочетаемая в необходимых случаях с коагуляцией.

Эффективность обработки воды методами осаждения определяется скоростью процесса выделения растворенных в воде веществ в твердую фазу, что связано с процессами кристаллизации. В зависимости от ряда условий процессы кристаллизации могут протекать с различной скоростью. Основным приемом интенсификации процесса кристаллизации является использование выпавших ранее твердых частиц в качестве центров кристаллизации,

Благодаря своей большой поверхности эти частицы способствуют более быстрому росту кристаллов и их дальнейшему укрупнению, что облегчает процесс отстаивания. Процесс кристаллизации еще более интенсифицируется с повышением температуры и при перемешивании вводимых отдельно воды и реагентов в присутствии ранее выпавшего осадка. Эти особенности процесса учтены в конструкциях осветлителей.

Использование осадка в качестве контактной среды при обработке методами осаждения позволяет сократить продолжительность обработки воды, повысить скорости движения ее в аппаратах, уменьшить расход реагентов и улучшить качество обработанной воды.

8-2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ

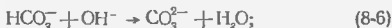
а) Снижение щелочности и умягчение воды известкованием

Гашеная известь в виде раствора или в виде суспензии (молока) вводится в заранее подогретую обрабатываемую воду. Растворяясь, известь обогащает воду ионами OH^- и Ca^{2+} :

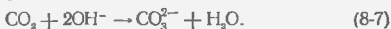


Обогащение воды ионами OH^- приводит:

а) к переводу бикарбонатных ионов в карбонаты:



б) к связыванию растворенной в воде свободной углекислоты с образованием карбонатных ионов:



Повышение концентрации ионов CO_3^{2-} в обрабатываемой воде и наличие в ней ионов Ca^{2+} , как содержащихся в исходной воде, так и введенных с известью, приводят к превышению произведения растворимости

$$C_{\text{Ca}^{2+}} C_{\text{CO}_3^{2-}} = \text{PP}_{\text{CaCO}_3} \quad (8-8)$$

и выделению в осадок почти нерастворимого в воде карбоната кальция

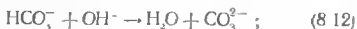


При дозировке извести в количестве, большем, чем это необходимо для осаждения ионов кальция и связывания свободной углекислоты, в воде появляется избыточная концентрация ионов, в результате чего достигается произведение растворимости и для гидроксидов магния и выпадение последней в осадок:



Приведенные уравнения предполагают, что все ионы кальция выделяются в виде CaCO_3 , а все ионы магния — в виде $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

С целью углубления процесса снижения щелочности и процесса удаления из воды грубодисперсных и коллоидных примесей одновременно с известкованием применяется коагуляция этих примесей. Для коагуляции при известковании обычно используется в качестве коагулянта сернокислое закисное железо $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. В зависимости от состава исходной воды и условий обработки щелочность обрабатываемой воды снижается при этом до 0,5–0,75 мг-экв/кг. Одновременно со снижением щелочности происходит уменьшение сухого остатка и жесткости обработанной воды. Известкование пригодно только для обработки вод, не обладающих высокой избыточной щелочностью, т. е. при $\text{Щ}_0 < \text{Ж}_0$. При известковании вод, у которых $\text{Щ}_0 > \text{Ж}_0$ и разность $\text{Щ}_0 - \text{Ж}_0$ равна концентрации бикарбоната натрия, последний, реагируя с анионами CO_3^{2-} и OH^- , переходит в соду или едкий натр:



Следовательно, известкованием нельзя в необходимых размерах снизить избыточную щелочность подобной исходной воды.

При обработке вод с большой некарбонатной жесткостью в отдельных случаях целесообразно применять метод осаждения не только для снижения щелочности, но и для более глубокого умягче-

ния воды, чем только при одном известковании. Это может быть достигнуто дополнительным введением соды. При дозировании Na_2CO_3 в воде возрастает концентрация карбонатных ионов, что позволяет снизить не только карбонатную жесткость, как при известковании, но и некарбонатную; при этом сода дозируется без избытка. При температуре около 40°C остаточная жесткость умягченной воды составляет 2—3 мг-экв/кг; окончательное умягчение воды производится методами катионного обмена.

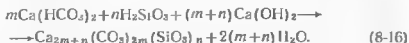
б) Обескремнивание воды магниальными реагентами

Для частичного обескремнивания воды в качестве реагента обычно применяется каустический магнезит MgO , являющийся продуктом обжига магнезита MgCO_3 при температуре $750\text{--}800^\circ\text{C}$.

Каустический магнезит может дозироваться в виде порошка (сухая дозировка), который затем с помощью водяного эжектора направляется в осветлитель. Применяется для дозировки также магниальное молоко, которое может готовиться отдельно либо совместно с известью. Одновременно с магниальным обескремниванием воды производится и известкование ее с целью снижения щелочности умягченной воды и создания оптимальной величины pH, определяющей активную концентрацию в воде гидроксильных ионов, необходимую для осуществления процесса обескремнивания. Окись магния, введенная в обрабатываемую воду в виде каустического магнезита, частично или полностью подвергается гидратации, образуя ассоциацию сложных молекул типа $(\text{MgO})_p[\text{Mg}(\text{OH})_2]_q$. Молекулы $\text{Mg}(\text{OH})_2$ частично подвергаются диссоциации, и часть гидроксильных ионов переходит в раствор. При этом образуется сложная положительно заряженная мицелла, окруженная ионами OH^- . Степень диссоциации $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и прочность связи ионов с положительно заряженными мицеллами определяются значением pH среды. Бисиликатные ионы HSiO_4^- вступают в анионный обмен с гидроксильными ионами, отщепляющимися от сложной молекулы обескремнивающего реагента:



При этом образуется химическое соединение, менее растворимое в воде, чем исходные силикаты, вследствие чего последние выводятся из раствора. Частичное удаление из раствора кремниевой кислоты при известковании и выделении CaCO_3 можно представить как явление соосаждения



Эффективность магниального обескремнивания воды зависит от качества обескремнивающего реагента и его удельных доз (мг) на 1 мг SiO_2^{2-} , продолжительности контакта обрабатываемой воды со взвешенным осадком, состава и свойств последнего, температуры обрабатываемой воды и режима известкования и коагуляции.

Магниальное обескремнивание рекомендуется проводить при следующих условиях: доза MgO , входящего в магниальный реа-

гент, должна быть равна от 5 до 20 мг на 1 мг удаленного SiO_2^{1-} ; температура воды 40—45 °С при колебаниях не более 1 °С, продолжительность пребывания в зоне зашламлиения 1 ч; доза коагулянта 0,25—0,5, иногда 1,0 мг-экв/кг, дозирование известно для поддержания в обработанной воде значения pH в пределах 10,1—10,3.

При соблюдении этих условий остаточное содержание кремнистых соединений в среднем за сутки составляет не более 1 мг/kg SiO_2^{2-} и максимално в отдельные часы не более 1,25 мг/kg SiO_2^{2-} . Повышение температуры воды до 130 °С увеличивает эффект обескремнивания до остаточного кремне содержания 0,2—0,3 мг/kg SiO_2^{2-} и требует одновременно аппаратуры, работающей под давлением, и температуростойких катионитов.

8.3. СХЕМЫ И АППАРАТУРА УСТАНОВОК ДЛЯ УМЯГЧЕНИЯ И ОБЕСКРЕМНИВАНИЯ ВОДЫ МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ

Принципиальная схема водоподготовительной установки для известкования, коагуляции и обескремнивания воды каустическим магнезитом приведена на рис. 8-1. Особенности этой схемы являются пневматическая разгрузка каустического магнезита через заборное сопло 35, сухое хранение его в бункере 39 и дозировка сухого каустического магнезита с помощью шнекового дозатора 40.

Известь применяется, как правило, в виде суспензии или известкового молока с концентрацией 10—20 %.

Для дозирования и известкового молока используются безнапорные дозаторы различных конструкций и плунжерные насосы-дозаторы. На рис. 8-2 приведен схема безнапорного шайбового дозатора. Подлежащая обработке исходная вода поступает по трубопроводу 1 в промежуточный бак 2 и через ограничительную шайбу 3 на дне его и отвод 4 направляется в осветлитель. Уровень исходной воды в баке тем выше, чем больше ее расход. Известковое молоко из гидравлической мешалки по трубе 6 подается в бачок 7. В последнем вертикально подвешена труба 9 с калиброванным отверстием 10 в верхней ее части, через которые известковое молоко стекает в нижний левый бак и дальше по трубе 4 — в осветлитель. Подвижная труба 9 с помощью троса связана с поплавком 5. При увеличении производительности установки увеличивается приток воды в промежуточный бак 2, что приводит к повышению уровня h_1 в нем, поднятию поплавка 5, увеличению погружения трубы 9 (уровень h_2) и дозы известкового молока, направляемого в осветлитель. При уменьшении расхода воды изменения идут в обратном порядке. Труба 9 проходит свободно через дно бачка 7. Небольшое количество известкового молока, протекающее через кольцевую щель вокруг трубы 9, собирается противнем 11 и вместе с переливом 8 избытка его возвращается в гидравлическую мешалку через воронку 12.

В более совершенной конструкции шайбового дозатора труба 9 закреплена неподвижно на достаточной глубине, а к тросу, кинематически связанному с поплавком 5, подвешена калиброван-

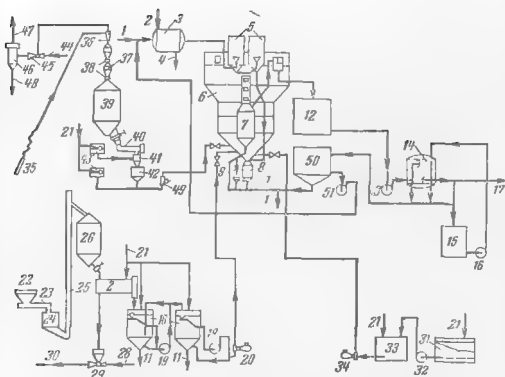


Рис 8-1 Схема установки для известкования, коагуляции и магнетического обескремнивания воды.

1 — исходная вода, 2 — греющий пар, 3 — поверхностный подогреватель, 4 — конденсат, 5 — воздухоотделитель, 6 — осветлитель, 7 — шламоотделитель, 8 — грязевик; 9 — непрерывная продувка шламоотделителя, 10 — периодическая продувка шламоотделителя, 11 — в дренаж, 12 — промежуточный бак, 13 — промежуточный насос, 14 — осветлительный фильтр, 15 — промывочный бак, 16 — промывочный насос, 17 — выход обработанной воды, 18 — известковая циркуляционная мешалка, 19 — известковые циркуляционные насосы, 20 — плунжерный насос-дозатор известкового молока, 21 — вода от линии собственных нужд, 22 — щековый питатель, 23 — шнек, 24 — бункер дробилки негашеной извести, 25 — ковшевый элеватор, 26 — бункер-хранилище; 27 — аппарат МПК для гашения извести, 28 — вода; 29 — гидрозелеватор, 30 — на гидрозолоудаление, 31 — ячейка мокрого хранения коагулянта, 32 — кислотоупорный насос, 33 — расходный бак раствора коагулянта, 34 — кислотоупорный плунжерный насос-дозатор раствора коагулянта; 35 — заборное сопло для пивчотранспорта каустического магнезита; 36 — циклон; 37 — промежуточные бункеры; 38 — заслонки с автоматическим управлением, 39 — бункер хранилище каустического магнезита, 40 — шнек-дозатор каустического магнезита, 41 — смывное устройство; 42 — приемный бачок, 43 — бачок с постоянным уровнем; 44 — сжатый воздух, 45 — воздушный эжектор, 46 — мокрый скруббер, 47 — в атмосферу, 48 — в циркуляционную мешалку известкового молока, 49 — мембранный дозатор, 50 — отстойник для повторного использования отмывочной воды осветлительных фильтров, 51 — оборотный насос.

ия игла, подъем и опускание которой изменяют величину живого сечения отверстия в неподвижной трубе. В этом варианте устранены затруднения, связанные с заклиниванием трубы 9.

Дозирование известкового молока можно осуществить также с помощью насоса-дозатора, изображенного на рис. 7-7.

Рабочие растворы легкорастворимых реагентов на небольших установках приготавливаются в расходном баке.

Реагент загружается в сетчатую корзину, через которую бак заполняется водой. Перемешивание раствора производится воздухом или паром. Для приготовления и перемешивания легкорастворимых реагентов на установках средней производительности применяются гидравлические мешалки. На каждый реагент устанавливается по одной мешалке с емкостью, обеспечивающей возможность зарядки двух расходных баков рабочего раствора реагента, имеющего концентрацию 5—10%. После загрузки суточного или 8-ч расхода реагента в гидромешалку, заполненную на $\frac{2}{3}$ водой, производится перемешивание раствора. После отстояния раствор перекачивается насосом в распределительный бак, из которого производится заполнение дозаторов.

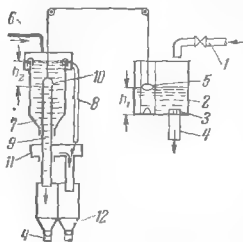


Рис. 8-2. Схема шайбового дозатора известкового молока.

На установках большой производительности применяется «мокрое хранение» реагентов. Реагенты, расход которых рассчитан на 1—1,5 месяцев, загружаются в специальные железобетонные ячейки ревгентиного склада, расположенные на уровне пола, и заливаются водой. Образовавшийся в них насыщенный раствор разбавляется до требуемой концентрации в трубопроводах, эжекторах или распределительных баках. Растворы легкорастворимых реагентов непрерывно дозируются в осветлитель с помощью сифонных дозаторов, насосов-дозаторов и дозаторов других конструкций. Многолетний опыт эксплуатации показал, что наиболее рациональным способом дозирования реагентов в осветлители являются сниженное расположение дозатора и открытый и удобный для контроля поток реагента с подачей отдозированного раствора через воздухоотделитель при помощи гидроэлеватора или специального насоса (рис. 8-3).

На рис. 8-4 изображен шнековый дозатор каустического магнезита. Изменение максимальной производительности дозатора достигается сменой шнеков, различающихся диаметром вала (при неизменном наружном

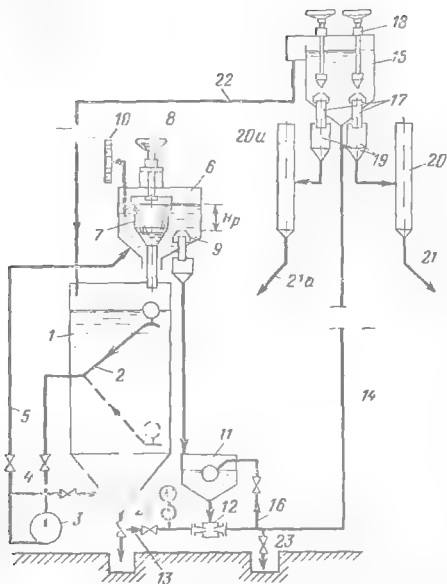


Рис. 8-3. Схема сниженного д затора пост яннсий дозы известкового молока и делителя суспензии по осветителям

1 — расходная м шалка; 2 — пла ающий рука; 3 — и нг бежный насос; 4 — подача воды в гидрозлеватор; 5 — линия подачи известкового молока в дозатор; 6 — дозатор; 7 — поднижная воронка; 8 — мховник для подьема и спуска воронки; 9 — насадка с калиброванным отверстием; 10 — указатель величины H_p , оттарированный при наладке в л/ч; 11 — промежуточный бачок отдозированного известкового молока; 12 — гидрозлеватор; 13 — подача воды в гидрозлеватор; 14 — линия п дачи из естество молока в делитель суспензии 15 (при обслуживании одним дозатором нескольких осветителей); 16 — линия возврата части жидкости из трубопровода 14 в бачок 11 через поплавковый регулятор уровня; 17 — дозирующая насадка; 18 — коническая пробка для отключения насадки при выводе осветителя в резерв; 19 — и р пка; 20 и 20а — воздухоотделители суспензии, направленной в осветитель; 21 и 21а — линии подачи известкового молока в соответствующие осветители; 22 — линия аварийного перетлива; 23 — дренажная задвижка; 24 — манометр.

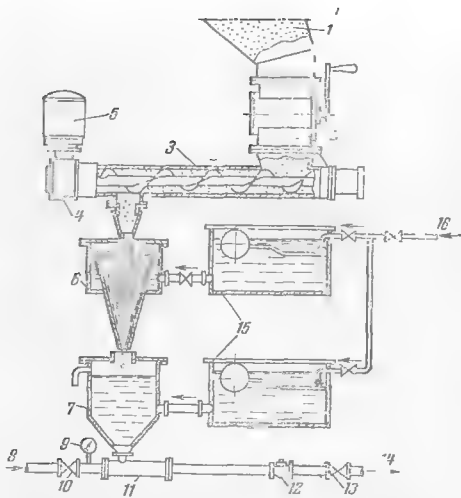


Рис. 84 Шнековый дозатор сухого каустического магнезита.

1 — течка и бункера хранения каустического магнезита; 2 — поворотная заслонка; 3 — шнек-дозатор; 4 — редуктор; 5 — электродвигатель; 6 — смывной бачок; 7 — смесительный бачок; 8 — эжектирующая вода; 9 — манометр; 10 — пробковый кран; 11 — гидроэлемент; 12 — обратный клапан; 13 — пробковый кран; 14 — суспензия каустического магнезита направляемая в осветлитель; 15 — бачок постоянного уровня; 16 — холодная вода.

диаметре 40 мм) и шагом винтовой поверхности, а также сменной червяков редуктора. Для обслуживания каждого осветлителя устанавливается один шнековый дозатор. Кроме того, на всю установку устанавливается резервный дозатор.

Для умягчения и магнезимального обескремнивания воды методом осаждения наиболее широкого распространения на отечественных промышленных ТЭЦ получил осветлитель типа ЦНИИ-1, схема которого приведена на рис. 8-1.

В осветлителе предусмотрены отдельный ввод реагентов и воды, принудительный отвод шлама в шламоотделитель и регулирование размеров этого отвода, а так-

же непрерывная продувка через шламоотделитель и периодическая через грязевик 8. Вода и реагенты по самостоятельным трубопроводам поступают в нижнюю часть осветлителя. Интенсивное перемешивание жидкостей достигается благодаря тангенциальному подводу воды, придающему ей вращательное движение, которое гасится смешивательными перегородками. Выделяющийся шлам, поддерживаемый водой во взвешенном состоянии, образует контактную среду, располагающуюся на 1—2 м ниже верхней распределительной решетки. Большая часть обрабатываемой воды, пройдя слой взвешенного шлама, зону осветления и отверстия верхней распределительной решетки, поступает в сборный желоб для отвода из осветлителя. Меньшая часть воды вместе с содержащимся в ней взвешенным шламом поступает в шламоотделитель 7 через шламоприемные окна. В шламоотделителе вода освобождается от взвешенного осадка и отводится из осветлителя вместе с остальным количеством обрабатываемой воды. Размер отсечки воды на шламоотделитель регулируется задвижкой на трубе, отводящей воду от шламоотделителя.

Рекомендуемые расчетные скорости подъемного движения воды в осветлителе при магнетиальном обескремнивании ее при 40°C составляют при выходной зоне (осветления) 3,6—3,8 м/ч, в центральной зоне (зашламления) 7,2 м/ч. Продолжительность пребывания воды в зоне взвешенного шлама не меньше 1 ч. При использовании осветлителей только для известкования без магнетиального обескремнивания производительность осветлителя может быть принята примерно в 1,5 раза больше расчетной.

При нормальной эксплуатации осветлитель может значительно повышать прозрачность воды, но при колебаниях температуры больше $\pm 1^\circ\text{C}$ и быстрых изменениях производительности установки качество осветления заметно ухудшается.

8-4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ УСТАНОВОК ДЛЯ УМЯГЧЕНИЯ И ОБЕСКРЕМНИВАНИЯ ВОДЫ МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ

Задачей правильной эксплуатации водоподготовительных установок для умягчения и обескремнивания воды методом осаждения является получение прозрачной, умягченной и обескремненной воды, соответствующей по

ее показателям установленным нормам, при максимальной проектной производительности установки, экономичном расходе реагентов и минимальных потерях воды на собственные нужды во вспомогательной установке. Количество добавляемых в воду реагентов должно строго соответствовать потребной их дозе, а поступление реагентов должно быть бесперебойным. Важно также строгое поддержание температурного режима.

Кроме непрерывной продувки осветителя, требуется практиковать режим (с интервалами от 2 до 20 суток) периодические продувки осветителя и штаммогдеителя. Такая продувка осветителя вызывается постепенным накоплением в конической части его крупных частиц шлама. Периодические продувки штаммогдеителя производятся для удаления возможных отложений с дренажной решетки.

При нормальных условиях и правильном режиме эксплуатации осветителя качество обработанной воды должно иметь следующие показатели: жесткость воды при температуре до 20°C должна составлять не более 1,8 мг-экв/кг; прозрачность 150—250 см по «кресту»; умягченная вода должна быть стабильной.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ОБРАБОТКА ПРИРОДНЫХ ВОД И КОНДЕНСАТОВ МЕТОДОМ ИОННОГО ОБМЕНА

9.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Обработка воды методом ионного обмена основана на способности некоторых практически нерастворимых в воде веществ, называемых ионообменными материалами, или ионитами, изменять в желаемом направлении ионный состав воды. Для этого обрабатываемая вода пропускается через фильтры, загруженные ионитами. Просачиваясь между зернами ионита, обрабатываемая вода обменивает часть ионов растворенных в ней электролитов на эквивалентное количество ионов ионита, в результате чего изменяется ионный состав как фильтруемой воды, так и самого ионита.

Если в результате обработки воды методом ионного обмена происходит обмен катионов, то такой процесс называется катионированием; если же при этом

происходит обмен анионов, то такой процесс называется анионированием. Как катионирование, так и анионирование получили широкое применение на ТЭС для умягчения, обессоливания и обескремнивания добавочной питательной воды парогенераторов, загрязненных конденсатов и подпиточной воды тепловых сетей.

Обработка воды методом ионного обмена принципиально отличается от обработки воды методами осаждения тем, что удаляемые из нее примеси не образуют осадка, и тем, что такая обработка не требует непрерывного дозирования реагентов. В связи с этим эксплуатация водоподготовительных установок, работающих по методу ионного обмена, значительно проще, габариты аппаратов меньше, а эффект обработки выше, чем установок, работающих по методу осаждения.

Продолжительность рабочего цикла ионитных фильтров определяется обменной емкостью ионита, т. е. способностью его к ионному обмену. После использования до заданного предела обменной емкости ионита необходимо восстановление обменной способности ионита путем удаления задержанных им из обрабатываемой воды ионов и введения взамен их ионов, которые он отдавал воде в период рабочего цикла. Таким образом, восстановление истощенного ионита является процессом ионного обмена, проводимого в обратном порядке.

В качестве ионитов в СССР используются сульфуголь и синтетические смолы, относящиеся к разряду пластических масс (полимеров). Отличительной особенностью синтетических смол являются размеры и структура их молекул, состоящих из тысяч, а иногда десятков тысяч прочно связанных атомов. Вещества, состоящие из таких молекул-гигантов, получили название высокомолекулярных веществ. Иониты, относящиеся к высокомолекулярным веществам, характеризуются следующими специфическими свойствами: набухаемостью, нерастворимостью в воде и способностью к реакциям ионного обмена.

При погружении в воду все иониты в большей или меньшей степени разбухают с одновременным увеличением их объема.

Отношение объемов одной и той же массы ионита в набухшем и воздушно-сухом состояниях называется коэффициентом набухания, который равен отношению насыщенной плотности воздушно-сухого ионита к насыщенной

плотности набухшего ионита (без учета веса поглощенной воды), т. е. к массе 1 м³ набухшего ионита после высушивания его до воздушно-сухого состояния:

$$k = \frac{\rho_0}{\rho_n}, \quad (9-1)$$

где ρ_0 и ρ_n — насыпные плотности ионита в воздушно-сухом и набухом состояниях, т. е. выраженные в килограммах сухого ионита массы 1 м³ воздушно-сухого и набухшего ионитов, кг/м³.

Способность ионитов к ионному обмену объясняется их специфической структурой, состоящей из твердой нерастворимой в воде молекулярной сетки, к отдельным местам которой на поверхности и внутри ее массы присоединены химически активные функциональные группы атомов ионита. С электрохимической точки зрения каждая молекула является своеобразным твердым электролитом. В результате электролитической диссоциации ионита вокруг нерастворимого в воде ядра образуется ионная атмосфера, представляющая собой ограниченное вокруг молекулы ионита пространство, в котором находятся подвижные и способные к обмену ионы.

На рис. 9-1 в упрощенном виде изображена схема структуры молекулы ионита. В зависимости от характера активных функциональных групп ионита его подвижные, способные к обмену ионы, могут иметь или положительные заряды (рис. 9-1,а), и тогда такой ионит называют катионитом, или отрицательные заряды (рис. 9-1,б), и тогда такой ионит называют анионитом.

Схематически диссоциацию ионитов в воде можно представить в следующем виде:



где K^+R^- — катионит, в котором подвижным обменным катионом является K^+ , а неподвижным анионом — высокомолекулярная часть R^- ; R^+A^- — анионит, в котором подвижным обменным анионом является A^- , а неподвижным катионом — высокомолекулярная часть R^+ ; $\rightleftharpoons$ —

условный знак, указывающий на способность твердого электролита к диссоциации в воде без видимого растворения самого электролита.

Характеристикой ионообменной способности ионита является величина его рабочей обменной емкости

сти, которая характеризуется количеством ионов, поглощенных иономтом, при пропускании раствора солей или кислот определенной концентрации через лабораторный или промышленный фильтр, загруженный испытуемым иономтом, до начала «проскока» в фильтрат погло-

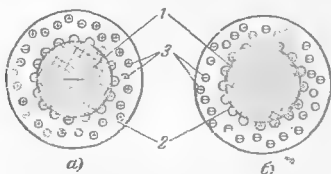


Рис. 9-1. Схема структуры молекулы ионита.

1 — твердый многоатомный каркас ионита; 2 — связанные с каркасом неподвижные ионы активных групп; 3 — ограниченно подвижные ионы активных групп, способные к обмену.

щаемых ионов. Рабочая обменная емкость ионита выражается в грамм-эквивалентах ионов, поглощенных 1 м^3 набухшего ионита (г-экв/ м^3).

9-2. ХАРАКТЕРИСТИКА И СВОЙСТВА ИОНИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

а) Катиониты и их свойства

Катиониты содержат следующие функциональные химически активные группы, водород которых способен замещаться другими катионами: сульфогруппу SO_3H , одновалентную карбоксильную группу COOH и одновалентную фенольную группу OH . Из них группа SO_3H обладает сильнокислотными, а группы COOH и OH — слабокислотными свойствами. В зависимости от химического состава катиониты делятся на сильнокислотные, содержащие активные сульфогруппы, и слабокислотные, содержащие в основном карбоксильные группы. Первые способны к обмену катионов в щелочной, нейтральной и кислой средах, вторые — только в щелочной среде.

Свойства применяемых в технике катионитов таковы, что в их состав могут быть введены разные обменные катионы, однако для практики водоподготовки на ТЭС важными являются только два катиона: натрий (Na^+) и водород (H^+). В зависимости от того, какой катион в данном катионите является обменным, различают натрий-катионит (Na -катионит, Na^+R^-) и водород-катионит (H -катионит, H^+R^-), где символом R^- обозначен нерастворимый в воде сложный радикал катионита, играющий условно роль одновалентного аниона. Процессы обработки воды перечисленными катионитами соответственно называются Na -катионированием и H -катионированием.

Показателями качества катионитов являются физические свойства, химическая и термическая стойкость, рабочая обменная емкость и др. Показателями физических свойств катионитов являются фракционный состав и механическая прочность катионита, а также рассмотренная выше насыпная плотность в воздушно-сухом и влажном состояниях, характеризующие и абсорбционную емкость катионита.

Фракционный состав катионитов, определяемый обычным ситовым анализом, позволяет установить количественное соотношение отдельных зерновых фракций, средний размер зерен, степень однородности последних и количество пылевидных частиц, непригодных к использованию в фильтре. При прочих одинаковых условиях мелкозернистый катионит имеет более высокую емкость, чем крупнозернистый, так как он обладает относительно более развитой поверхностью, с которой соприкасается обрабатываемая вода. С другой стороны, чем мельче зерна катионита, тем больше его гидравлическое сопротивление и расход электроэнергии на фильтрование воды. Учитывая достигаемые при обычных скоростях фильтрования величины потерь напора в слое ионита и рабочие обменные емкости, оптимальные размеры зерен катионита принимают в пределах 0,3—1,5 мм.

Кроме размера зерна, имеет значение однородность зернового состава катионита, т. е. соотношение его мелких и крупных фракций. Для удобства эксплуатации катионитных установок рекомендуется применять катионит с коэффициентом неоднородности $k_u = d_{80}/d_{10}$ не выше 2, где d_{80} и d_{10} — размеры сит, через которые могло бы пройти 80 или 10% общей навески.

Большое значение для эксплуатации имеют механическая прочность катионита, а также его химическая и термическая стойкость. Эти показатели необходимы для установления износа катионитов в процессе их эксплуатации и выбора марки катионита применительно к заданной температуре обрабатываемой воды и ее активной реакции. Невыполнение этих требований приводит к тому, что в процессе эксплуатации катионит частично измельчается при фильтровании, а также вследствие трения его зерен друг о друга при взрыхлении; кроме того, при высоких температурах обрабатываемой воды и повышенных значениях ее кислотности или щелочности он частично пептизирует, т. е. переходит из нерастворимого состояния в состояние коллоидного раствора. И то, и другое приводит к постепенному вымыванию образовавшейся пылевидной мелочи или коллоидных частиц в процессе взрыхления ионита и в конечном счете к безвозвратной потере некоторого количества его. При практическом использовании отечественных катионитов годовые потери за счет механического износа и пептизации составляют для сульфогеля 5—7%, а для смолы КУ-2 15—20%.

Рабочая обменная емкость является основной технологической характеристикой ионита, так как от нее зависит объем ионита, необходимый для загрузки фильтров при заданных условиях их эксплуатации. В отличие от рабочей обменной емкости полная обменная емкость ионита характеризуется количеством ионов, которое может быть поглощено ионитом при полной замене всех обменных ионов. Определение ее основано на полной нейтрализации кислотного катионита раствором NaOH, а щелочного анионита — раствором HCl. Величина полной обменной емкости данного ионита постоянна и выражается, как и рабочая обменная емкость, в грамм-эквивалентах ионов, поглощенных 1 м³ набухшего ионита.

Рабочая обменная емкость катионита зависит от вида улавливаемых из воды катионов, соотношения солевых компонентов в обрабатываемой воде, значения pH воды, высоты слоя катионита, скорости фильтрования, режима эксплуатации катионитных фильтров и удельного расхода регенерирующего реагента.

При больших скоростях фильтрования рабочая обменная емкость катионита снижается вследствие уменьшения продолжительности контакта между водой и ка-

тионитом. Однако в катионитных фильтрах первой ступени, где скорость фильтрования обычно не превышает 15—20 м/ч, а высота загрузки 2,0—2,8 м, влияние скорости на рабочую обменную емкость незначительно. В катионитных фильтрах второй ступени скорость фильтрования достигает 30—50 м/ч при высоте слоя катионита 1,5 м; поэтому для них фактор влияния скорости является ощутимым и должен учитываться при расчете этих фильтров (см. § 9-3,а).

В табл. 9-1 приведены основные показатели качества отечественных и некоторых зарубежных катионитов, которые применяются в катионитных фильтрах на тепловых электростанциях СССР.

Из перечисленных в табл. 9-1 катионитов наиболее широко применяются на отечественных электростанциях

Таблица 9-1

Показатели качества катионитов

Наименование марки катионита	Страна изготовитель	Функциональная группа	Диаметр зерна, мм
Сульфуголь СМ-1	СССР	SO_3H OH, (COOH)	0,30—0,80
Сульфуголь СК-1	СССР	То же	0,50—1,10
Катионит КУ-1	СССР	SO_3H	0,30—1,50
Катионит КУ-2	СССР	То же	0,30—1,00
Вофатит Р	ГДР	SO_3H , OH	0,30—0,75
Вофатит С	ГДР	То же	0,30—1,50
Амберлайт IR-100	США	" "	0,30—1,00
Цеокарб	США	" "	0,30—1,50

Продолжение табл. 9-1

Наименование марки катионита	Плотность, г/см ³		Коэффициент набухания	Мгновенная емкость, экв./кг		Длительная температура, °С
	воздушно-сухого	влажного		при Н-катионировании	для Na-катионирования	
Сульфуголь СМ-1	0,65	0,55	1,20	250	400	60
Сульфуголь СК-1	0,65	0,55	1,20	200	350	60
Катионит КУ-1	0,63	0,45	1,40	300	300	—
Катионит КУ-2	0,71	0,50	1,42	800	800	120
Вофатит Р	0,62	0,50	1,24	300	300	100
Вофатит С	0,73	0,55	1,33	150	400	100
Амберлайт IR-100	0,64	0,44	1,45	—	300	120
Цеокарб	0,56	0,53	1,06	—	300	100

сульфоуголь, получаемый путем обработки коксующегося каменного угля дымящейся серной кислотой, а также выпускаемый отечественной промышленностью катионит марки КУ-2, являющийся синтетической смолой и обладающий более высокой обменной емкостью, чем сульфуголь, а также более высокой химической стойкостью к кислотам, щелочам, органическим растворителям и некоторым окислителям даже при температуре до 120 °С.

б) Аниониты и их свойства

Аниониты содержат следующие химически активные функциональные группы: первичные ($-\text{NH}_2$), вторичные ($=\text{NH}$), третичные ($\equiv\text{N}$) аминогруппы и четвертичные аммониевые группы ($-\text{N}^+\text{R}_3$). Введение перечисленных активных групп в синтетические смолы сообщает последним характер оснований. Первичные, вторичные и третичные аминогруппы обладают слабоосновными, а четвертичные аммониевые группы — сильноосновными свойствами. В зависимости от химического состава аниониты делятся на: а) слабоосновные, содержащие вторичные и третичные аминогруппы; б) сильноосновные, содержащие четвертичные аммониевые группы. Первые способны к обмену анионов только в кислой среде, вторые — в кислой, нейтральной и щелочной средах.

В состав анионитов могут быть введены различные обменные анионы. В практике водоподготовки на электростанциях такими обменными анионами являются OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- . В зависимости от того, какой анион в данном анионите является обменным, различают следующие виды анионитов: R^+OH^- , $\text{R}_2^+\text{CO}_3^{2-}$, R^+HCO_3^- , где символом R^+ обозначен нерастворимый в воде сложный радикал, включающий функциональную группу и играющий условно роль одновалентного катиона. При погружении анионита в воду происходит диссоциация его с образованием вокруг нерастворимого в воде ядра неонной атмосферы, состоящей из подвижных анионов OH^- , CO_3^{2-} или HCO_3^- , способных обмениваться на другие анионы (рис. 9-1,б).

В табл. 9-2 приведены основные показатели качества отечественных и некоторых зарубежных анионитов, применяемых в анионитных фильтрах обессоливающих установок на отечественных электростанциях. Качество анио-

Показатели качества анкиритов

Наименование марки анкирита	Страна-производитель	Функциональная группа	Диаметр зерна, мм	Насыпная плотность, т/м ³		Коэффициент кабухания	(Обменная емкость, экв./кг)			Допустимая температура, °С
				сухого	влажного		по Cl ⁻	по SO ₄ ²⁻	по SiO ₂ ^{4*}	
АН-2Ф	СССР	$\equiv N, = NH$	0,3—1,50	0,60	0,35	1,72	450	675	—	40
АН-18***	СССР	$\equiv N$	0,3—1,60	0,68	0,49	1,39	880	1045	—	40
Амберлайт IR-4B	США	—	0,3—0,85	0,57	0,40	1,42	1140	1780	—	40
Вофатит М	ГДР	—	0,3—2,00	0,66	0,46	1,43	340	480	—	—
ЭДЭ-10П	СССР	$\equiv N; = NH$	0,4—1,60	0,60	0,45	1,71	800	1200	30	40
АВ-17	СССР	$-N^+R_3$	0,2—0,85	0,74	0,39	1,90	—	—	420	60
Амберлайт IRA-400	США	$-N^+R_3$	0,3—0,85	0,71	0,45	1,78	800	—	400	50
Амберлайт IRA-410	США	$-N^+R_3$	0,3—0,85	0,75	0,46	1,63	1050	—	300	50

* При концентрации кислоты в исходном растворе 1,78 моль/кг

** До протекла 0,1 моль/кг SiO₂

*** При концентрации кислоты в исходном растворе 1,0 моль/кг.

нистов определяется теми же показателями, что и катионитов. Из них основным показателем является рабочая обменная емкость. В противоположность катионитам, рабочая обменная емкость которых повышается с увеличением рН фильтруемой воды, рабочая обменная емкость анионитов тем больше, чем ниже величина рН, т. е. чем выше кислотность фильтруемой воды.

Так как сильноосновные аниониты в схемах полного химического обессоливания предназначены для обескремнивания, их обменная способность характеризуется рабочей кремнеемкостью, выраженной количеством грамм-эквивалентов H_2SiO_3^- , которое может извлечь из воды 1 м³ набухшего анионита в результате обменной реакции. Рабочая кремнеемкость сильноосновных анионитов зависит от величины рН воды, поступающей на анионитный фильтр, концентрации кремниевой кислоты в этой воде, удельного расхода щелочи на регенерацию, концентрации регенерирующего раствора, момента отключения фильтра на регенерацию, скорости фильтрования воды, природы обменного иона (OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-}), температуры исходной воды и других факторов.

Из слабоосновных анионитов, выпускаемых отечественной промышленностью, наиболее пригоден для обессоливания воды анионит марки АИ-18. Из новых сильноосновных анионитов наибольшее распространение получил анионит марки АВ-17. От слабоосновных анионитов он отличается тем, что содержит исключительно сильно диссоциированные активные аминогруппы четвертичного аммониевого основания. Анионит АВ-17 хорошо сорбирует слабые кислоты, в том числе кремниевую. Анионит АВ-17 механически прочен и химически стоек к кислотам и щелочам. Он применяется в основном для удаления из воды кремниевой кислоты в схемах полного химического обессоливания.

В табл. 9-1 и 9-2 приведены обменные емкости ионитов, которые определены при одинаковых лабораторных условиях. Они служат только для сравнения их между собой, но не могут быть использованы для технологических расчетов.

При проектировании водоподготовительных установок выбор расчетной обменной емкости следует производить по графикам, приведенным в гл. 13, учитывающим влияние различных факторов на величину обменной емкости.

9-3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ИОННОГО ОБМЕНА

а) Натрий-катионирование

Умягчение воды путем натрий-катионирования заключается в фильтровании ее через слой катионита, содержащего в качестве обменных ионов катионы натрия.

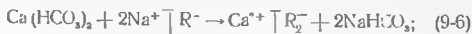
При Na-катионировании жесткой воды происходит следующий катионный обмен:



В результате приведенных реакций происходит более или менее полная замена катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в воде катионами натрия, вследствие чего остаточная жесткость натрий-катионированной воды снижается до 10 мг-экв/кг и ниже, щелочность и анионный состав не изменяются, а содержание ее несколько возрастает. Последнее объясняется тем, что, как видно из приведенных выше реакций, два катиона Na^+ заменяют в воде один катион Ca^{2+} или один катион Mg^{2+} , т. е. 23 весовые части натрия заменяют 20 весовых частей кальция или 12,16 весовой части магния, где 23; 20 и 12,16 — эквивалентные веса соответственно натрия, кальция и магния.

Не все катионы извлекаются из растворов катионитами с одинаковой интенсивностью. Для катионитов справедливым является следующий ряд катионов: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$, в котором каждый предыдущий катион извлекается из воды катионитом в результате обменной реакции с катионом катионита более интенсивно и в большем количестве, чем последующий. С другой стороны, каждый последующий катион приведенного выше ряда вытесняется из катионита предыдущим катионом, если они находятся в растворе в сопоставимых концентрациях. Отсюда следует, что при катионировании растворов, содержащих равноименные катионы в концентрациях, соответствующих природным пресным водам, наблюдаются неодновременность прорыва в фильтрат катионов разной природы и способность одних катионов вытеснять другие, поглощенные ранее катионитом.

Основным недостатком натрий-катионирования является превращение карбонатной жесткости воды в бикарбонат натрия, обуславливающий высокую натриевую щелочность котловой воды, так как в парогенераторе бикарбонат натрия превращается в карбонат и гидроксид натрия:



Процесс умягчения воды методом катионного обмена изображен графически на рис. 9-2. Линия ГД соответствует величине жесткости исходной воды. Кривая АБД показывает зависимость остаточной жесткости умягченной воды от количества ее, пропущенного через фильтр. При фильтровании воды через катионит от плоскости аб (рис. 9-2,а) до некоторой плоскости а₀б₀ происходит ее умягчение. Слой катионита абб₀а₀, в котором происходит умягчение, называется работающим слоем или зоной умягчения. По мере истощения верхние слои катионита перестают умягчать воду. Вместо них вступают в работу свежие слои катионита, расположенные под работающим слоем, и зона умягчения постепенно опускается. Через некоторое время после начала работы фильтра в слое катионита образуются три зоны: истощенного 1, работающего 2 и свежего 3 катионита (рис. 9-2,б).

В начале работы фильтра остаточная жесткость умягченной воды будет весьма малой и постоянной (линия

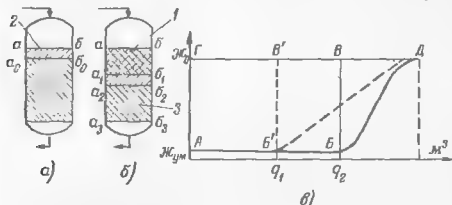


Рис. 9-2. График умягчения воды в катионитном фильтре.
1 — истощенный катионит; 2 — зона умягчения; 3 — свежий катионит.

АВ на рис. 9-2,в) до момента совмещения нижних границ зоны умягчения a_2b_2 и слоя катионита a_3b_3 . С момента совмещения этих плоскостей начинается «продок» катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} и увеличение остаточной жесткости фильтрата (кривая БД) до жесткости исходной воды в точке Д при полном истощении катионита.

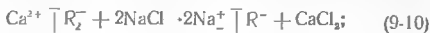
Площадь АБВГ, эквивалентная количеству катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , поглощенных катионитом за рабочий цикл, и равная $(J_0 - J_{ум})q_2$, является рабочей емкостью фильтра E_p , т. е. всего объема катионита, загруженного в фильтр, где J_0 — жесткость исходной воды, г-экв/м³; $J_{ум}$ — жесткость умягченной воды, г-экв/м³; q_2 — количество умягченной воды, пропущенной через фильтр за рабочий цикл, м³. Так как $J_{ум}$ гораздо меньше, чем J_0 , то ею можно пренебречь. Тогда $E_p = J_0 q_2$, г-экв. Если величину E_p разделить на объем загруженного в фильтр катионита в набухшем состоянии, равный $v = fh$, получим формулу для определения рабочей обменной емкости катионита e_p :

$$e_p = \frac{J_0 q_2}{fh} \cdot \text{г-экв/м}^3, \quad (9-9)$$

где f — площадь поперечного сечения фильтра, м²; h — высота загрузки катионита, м.

Площадь АБДГ (рис. 9-2,в) эквивалентна полной обменной емкости катионитного фильтра. Площадь БВД характеризует обменную емкость зоны умягчения, оставшуюся неиспользованной, которая называется остаточной. Она минимальна в том случае, когда ограничивающие зону умягчения плоскости a_1b_1 и a_2b_2 горизонтальны. В действительности, как показывает опыт эксплуатации промышленных катионитных фильтров, зона умягчения ограничивается искривленными поверхностями, при которых пропуск катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} начинается преждевременно вследствие гидравлического перекоса. На кривой истощения катионита (рис. 9-2,в) этому моменту соответствует точка Б'. В результате этого величина используемой емкости поглощения (площадь АБ'В'Г) будет меньше, а остаточная емкость (площадь Б'В'Д) будет больше, чем площади АБВГ и БВД. После того как рабочая обменная емкость e_p полностью исчерпана и значительная часть обменных катионов заменена катионами кальция и магния, катионит истощается и теряет способность умягчать воду.

Для восстановления рабочей обменной емкости катионита необходимо извлечь из него задержанные катионы, заменив их обменными катионами. Процесс восстановления обменной емкости истощенного катионита называется его регенерацией. Регенерация истощенного Na-катионита достигается фильтрованием через его слой раствора поваренной соли (NaCl). Вследствие относительно большой концентрации катионов натрия в регенерационном растворе происходит замена ими поглощенных ранее катионов кальция и магния. Протекающие при этом реакции могут быть выражены следующими уравнениями:



Поваренная соль применяется для регенерации в основном вследствие ее доступности, а также вследствие того, что получающиеся при этом хорошо растворимые CaCl_2 и MgCl_2 легко удаляются с регенерационным раствором и отщивочной водой. В процессе регенерации при фильтровании раствора NaCl сверху вниз через истощенный катионит наиболее полный обмен катиона натрия на содержащиеся в катионите катионы кальция и магния происходит в верхних слоях загрузки фильтра. При пропускании через фильтр раствора NaCl в последнем возрастает концентрация вытесняемых из катионита катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} и снижается концентрация катионов Na⁺.

Увеличение концентрации противоионов (в данном случае Ca^{2+} и Mg^{2+}) в регенерационном растворе подавляет диссоциацию истощенного катионита и ослабляет процесс ионного обмена. Возникающий при этом противоионный эффект тормозит реакцию регенерации, в результате чего по мере движения регенерирующего раствора в нижние слои катионита регенерация последнего протекает менее полно и некоторое количество катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} остается невытесненным из нижних слоев катионита. Для устранения этого недостатка можно пропускать через катионит все новые свежие порции раствора реагента. Но это вызовет значительное увеличение удельного расхода поваренной соли и повышение стоимости обработки воды. Поэтому оптималь-

ничиваются однократным пропуском регенерационного раствора с количеством соли, превышающим в 3,0—3,5 раза стехиометрический расход, что обеспечивает относительно удовлетворительную регенерацию катионита.

При пропускании через такой отрегенированный фильтр сверху вниз умягчаемой жесткой воды, содержащей катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} , она сначала приходит в соприкосновение с наиболее хорошо отрегенированными слоями катионита, молекулы которого содержат в своей атмосфере почти исключительно катионы натрия. Поэтому в верхних слоях катионита катионный обмен протекает достаточно полно и умягчаемая вода содержит минимальное остаточное количество катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Однако по мере продвижения в нижние слои Na-катионита умягчаемая вода в результате обменных реакций обогащается катионами натрия. В этих условиях в результате противоионного эффекта процесс умягчения воды тормозится, и некоторое количество катионов кальция и магния остается в умягченной воде, которая вследствие этого имеет некоторую остаточную жесткость. Этот противоионный эффект, мало ощутимый для мягких вод, становится заметным препятствием для глубокого умягчения сильно минерализованных вод, у которых вследствие замены катионов кальция и магния катионами натрия создаются высокие концентрации этого противоиона, снижающие эффект умягчения воды.

Следовательно, как полнота регенерации катионита снижается по направлению движения регенерационного раствора, так снижается и глубина умягчения воды, фильтруемой в том же направлении. Если же регенерационный раствор и умягчаемую воду пропускать в разных направлениях, последняя перед выходом из фильтра соприкасается с наиболее хорошо отрегенированными слоями катионита, благодаря чему обеспечивается более глубокое умягчение воды. Такой метод противоточного катионирования позволяет значительно снизить расход реагентов на регенерацию катионита, приближаясь к стехиометрическим соотношениям обменивающихся катионитов, не снижая при этом глубины умягчения воды.

Умягчение воды путем Na-катионирования применимо для вод с относительно малой карбонатной жесткостью, превращение которой в бикарбонат натрия не вызывает чрезмерного увеличения продувки парогенера-

торов, а также не создает опасной для парогенераторов повышенной относительной щелочности котловой воды.

Для более глубокого умягчения воды, а также в целях экономии соли и увеличения продолжительности фильтроцикла применяется двухступенчатое Na-катионирование. В этом случае в фильтрах первой ступени вода подвергается умягчению до остаточной жесткости 0,05—0,2 мг-экв/кг при обычных скоростях фильтрования (15—20 м/ч). Затем умягченная вода пропускается через фильтры второй ступени катионитовой установки, в которой жесткость предварительно умягченной воды удается снизить до 0,03—0,01 мг-экв/кг.

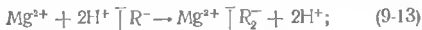
Незначительное содержание удаляемых катионов в воде, поступающей на фильтры второй ступени, позволяет осуществлять фильтрование через них воды с большей скоростью фильтрования (30—50 м/ч). Кроме указанных выше достоинств двухступенчатого Na-катионирования, наличие фильтров второй ступени создает своего рода барьер, препятствующий «проскоку» удаляемых катионов при различного рода случайных отклонениях в условиях работы фильтров первой ступени (несвоевременное отключение на регенерацию, недостаточная отмывка после регенерации, нарушение гидравлического режима, приводящее к гидравлическому перекосу и увеличенному проскоку удаляемых катионов в фильтрат первой ступени). Поэтому Na-катионитные фильтры второй ступени часто называют барьерными фильтрами.

При наличии барьерных фильтров упрощается эксплуатация установки, так как катионитные фильтры первой ступени могут отключаться на регенерацию не по проскоку ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , требующему тщательного контроля жесткости воды после этих фильтров, а по количеству воды, пропущенной через них. Небольшое повышение жесткости воды после фильтров первой ступени неопасно, так как она будет задержана барьерными фильтрами.

б) Водород-катионирование

Обработка воды путем водород-катионирования состоит в фильтровании ее через слой катионита, содержащего в качестве обменных ионов катионы водорода.

При Н-катионировании обрабатываемой воды протекают следующие реакции:



В результате приведенных реакций общая жесткость Н-катионированной воды снижается до 10 мкг-экв/кг и ниже, а карбонатная жесткость полностью удаляется, вследствие чего происходит снижение содержания и устранение щелочности воды. Так как в процессе Н-катионирования все катионы в воде заменяются катионами водорода, то присутствующие в растворе сульфаты, хлориды и нитраты кальция, натрия и других катионов преобразуются в свободные минеральные кислоты (серную, соляную, азотную, кремниевую).

Общая кислотность Н-катионированной воды при этом равна сумме содержащихся в воде анионов минеральных кислот SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- и др. и для вод, не содержащих катионы Na^+ , может быть принята равной некарбонатной жесткости воды. Ввиду того, что катионированная вода является кислотой, непригодной для пита-

ния парогенераторов Н-катионирование всегда сочетают с Na-катионированием или анионированием, что дает возможность нейтрализовать кислотность и снизить щелочность обработанной воды.

На рис. 9-3 изображен графически процесс Н-катионирования раствора, содержащего катионы кальция и натрия (при одноименном анионе с целью исключения влияния его на реакцию катионного обмена). Процесс Н-катионирования в данном случае можно разделить

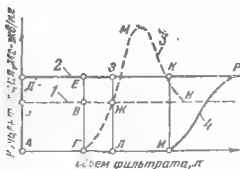


Рис 9-3 Процесс Н-катионирования раствора, содержащего катионы кальция и натрия
1 — концентрация катионов натрия в исходном растворе 2 — концентрация катионов кальция в исходном растворе 3 — концентрация катионов натрия в фильтрате, 4 — концентрация катионов кальция в фильтрате,

устовию на четыре стадии: 1) полное поглощение обоих катионов из фильтруемого раствора ($A—Г$); 2) проскок в фильтрат катиона натрия и нарастание его концентрации в фильтрате до концентрации в исходном растворе ($Г—Ж$); 3) вытеснение катионом кальция поглощенного ранее катиона натрия в фильтрат ($Ж—М—Н$); 4) проскок в фильтрат катиона кальция с увеличением его концентрации в фильтрате до концентрации в исходном растворе ($Н—Р$).

Рабочая обменная емкость II-катионитов зависит также от схемы подготовки воды, что можно установить из дальнейшего рассмотрения рис. 9-3. При глубоком и полном химическом обессоливании, когда требуется отключение II-катионитного фильтра на регенерацию в момент проскока катиона натрия, рабочая обменная емкость II-катионита будет определяться суммой площадей $АБВГ$ и $АДЕГ$. Первая из них эквивалентна количеству катионов натрия, поглощенных II-катионитом к моменту проскока их в фильтрат, а вторая — количеству катионов кальция, поглощенных II-катионитом к этому же моменту. Если отключение II-катионитного фильтра на регенерацию производится в момент, когда содержание катионов натрия в фильтрате равно их концентрации в исходной воде (один из случаев частичного обессоливания), рабочая обменная емкость II-катионита эквивалентна сумме площадей $АБЖГ$ и $АДЗЛ$. При умягчении воды путем комбинированного II- и Na-катионирования, позволяющего отключать II-катионитные фильтры на регенерацию в момент проскока солей жесткости, в частности катиона Ca^{2+} , рабочая обменная емкость II-катионита определяется площадью $АДКИ$.

На рабочую обменную емкость катионита оказывают влияние также анионный состав воды и величина его общего содержания. Влияние этих факторов проявляется в различной степени для одного и того же катионита при II- и Na-катионировании, а также для различных катионитов. Если при Na-катионировании анионный состав не оказывает существенного влияния на рабочую обменную емкость сульфогля, то при II-катионировании он приобретает решающее значение. На рис. 9-4 показана зависимость величины рабочей обменной емкости сульфогля и катионитов КУ-1 и КУ-2 при применении их в форме II-катионитов от общего содержания исходной воды и отношения концентрации бикарбонат-

ного иона к общей сумме анионов, т. е. от отношения

$$C_{\text{HCO}_3^-}/A, \text{ где } A = C_{\text{HCO}_3^-} + C_{\text{CO}_3^{2-}} + C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{NO}_3^-}.$$

Как видно из рис. 9-4, при повышении солесодержания исходной воды с 1 до 15 мг-экв/кг рабочая обменная емкость катионита КУ-2 снижается примерно на 14%, а катионита КУ-1 примерно на 27%. Величина отношения $C_{\text{HCO}_3^-}/A$ не оказывает заметного влияния на ра-

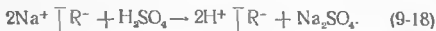
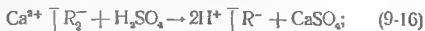
бочую обменную емкость катионитов КУ-1 и КУ-2, но в сильной степени влияет на рабочую обменную емкость сульфогля. При отсутствии в исходной воде бикарбонатных ионов, т. е. при $C_{\text{HCO}_3^-}/A=0$, рабочая обмен-

ная емкость сульфогля (до момента проскока натрия в фильтрат) невелика, причем при солесодержании исходной воды 1 мг-экв/кг она вдвое больше, чем при солесодержании 15 мг-экв/кг. Когда же в воде содержится только бикарбонатные анионы, т. е. при $C_{\text{HCO}_3^-}/A=1$,

рабочая обменная емкость сульфогля возрастает более чем в 2 раза, причем величина солесодержания воды почти перестает влиять на рабочую обменную емкость сульфогля.

Регенерация истощенного II-катионита обычно осуществляется фильтрованием через его слой 1,0—1,5%-ного раствора серной кислоты. При большей концентрации серной кислоты появляется опасность образования зерен II-катионита отложениями сульфата кальция из-за сравнительно малой растворимости последнего (загипсование), следствием этого является безвозвратная потеря катионитом ионообменной способности.

Протекающие в процессе регенерации реакции могут быть выражены следующими уравнениями:



Для обеспечения большей полноты регенерации II-катионита применяется расход серной кислоты в коли-

чество, превышающем в 1,25—1,5 раза стехиометрический, что обеспечивает вполне удовлетворительную регенерацию катионита.

При умягчении воды II-катионитные фильтры выключаются на регенерацию при появлении проскока катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , т. е. при повышении жесткости фильтрата, а при химическом обессоливании—при появлении проскока катионов Na^+ , т. е. при снижении кислотности фильтрата.

Иногда применяется «голландая» регенерация II-катионитных фильтров. В этом случае при катионировании происходит не глубокое умягчение исходной воды, а разрушение ее карбонатной щелочности без образования кислого фильтрата. Это достигается тем, что фильтры регенерируются таким количеством кислоты, которого недостаточно для вытеснения всех катионов, ранее поглощенных из воды. Это приводит к расположению в верхних частях фильтрующего слоя катионита с обменным катионом водорода, а в нижних — с обменными катионами кальция и магния. Прошедшая через такой фильтр вода не содержит сильных кислот и имеет незначительную щелочность (порядка 0,6—0,8 мг-экв/кг). Последующим фильтрованием II-катионированной воды после удаления из нее свободной углекислоты через две ступени Na-катионитных фильтров достигается необходимая глубина ее умягчения (не больше 5 мг-экв/кг).

Для более полного вытеснения поглощенных катионов ионов рекомендуется производить ступенчатую регенерацию II-катионита: сначала 1%-ным раствором серной кислоты, а затем, когда основная масса катионов кальция и магния уже вытеснена и опасности «гнисова-

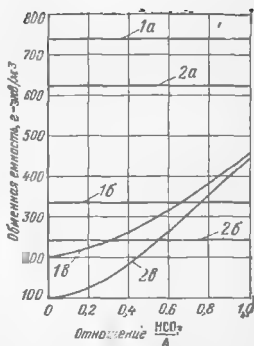


Рис. 94 Влияние величины солевого содержания и ионного состава исходной воды на рабочую обменную емкость катионита (при удельном расходе серной кислоты на регенерацию 2,5—3,0 г-экв/г-экв).

а — катионит КУ-2, б — катионит КУ-1 в — сульфаты; 1 — общее содержание исходной воды 1 мг-экв/кг; 2 — то же 15 мг-экв/кг.

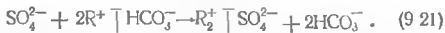
ния» уже нет, более крепким (5—6%) раствором кислот.

Обычно для регенерации истощенного Н-катионита применяется серная кислота, так как она дешевле и удобнее при перевозке, хранении и применении, чем соляная, хотя последняя также пригодна для регенерации Н-катионита, например, при высоком содержании Na в исходной воде. Концентрация раствора HCl для регенерации обычно составляет 5—6% в связи с тем, что она не даст при регенерации соединений, малорастворимых в воде.

в) Анионирование

Анионирование воды производится с целью обмена содержащихся в ней анионов на обменные ионы анионита. На слабоосновные анионитные фильтры вода поступает после Н-катионитных фильтров, поэтому кислотность воды перед анионированием равна сумме концентраций анионов сильных кислот SO_4^{2-} , Cl^- и NO_3^- (мг-экв/кг) в воде, поступающей на обессоливание. Анионирование Н-катионированной воды применяется в схемах химического обессоливания воды. В этом случае в качестве обменных ионов используются такие, которые с катионом водорода образуют воду или свободную углекислоту, удаляемую из воды путем декарбонизации или термической деаэрации. К таким обменным анионам относятся OH^- , CO_3^{2-} и HCO_3^- .

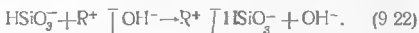
Слабоосновные аниониты при анионировании способны обменивать свои активные обменные анионы только на анионы сильных кислот (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), для удаления которых из воды они и применяются. Например:



В результате проведенных реакций анионирования Н-катионированной воды общее солесодержание ее снижается до 50—100 мг/кг .

Слабоосновные аниониты характеризуются неординарной способностью к поглощению различных анионов; для большинства из них справедливым является следующий ряд: $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$, в котором каждый предыдущий анион поглощается более активно и в большем количестве, чем последующий. Так, например, рабочая обменная емкость по аниону SO_4^{2-} на 40—50% больше, чем по аниону Cl^- . А это значит, что анион Cl^- проскакивает в фильтрат раньше, чем анион SO_4^{2-} . Поэтому в схемах полного химического обессоливания анионитные фильтры первой ступени (слабоосновные) приходится выключать на регенерацию по проскоку в фильтрат аниона Cl^- . При частичном же обессоливании воды, когда в ней допускается относительно высокое остаточное солесодержание, рабочую обменную емкость слабоосновного анионита можно существенно увеличить, выключая анионитный фильтр на регенерацию в момент проскока в фильтрат анионов SO_4^{2-} , если содержание аниона Cl^- в частично обессоленной воде не превышает допустимого.

Анионы слабых кислот (HSiO_3^- , HCO_3^- и др.) не вступают в обменные реакции со слабоосновными анионитами. Сильноосновные аниониты способны извлекать из воды все содержащиеся в ней анионы как сильных, так и слабых кислот. Однако сильноосновные аниониты значительно дороже слабоосновных; поэтому они применяются главным образом для поглощения анионов кремниевой кислоты в установках для полного химического обессоливания и обескремнивания воды:



Кремнесодержание воды, пропущенной через сильноосновный анионитный фильтр, в пересчете на SiO_3^{2-} снижается до 20 мг/кг и ниже в зависимости от режима работы фильтра.

Глубокое обескремнивание и высокая кремнеемкость анионитов достигаются лишь при определенных значениях pH фильтруемой воды. Лучшие результаты получаются в том случае, когда в исходной воде находится сама кремниевая кислота, а не ее соли. В результате обмена активного аниона с анионом кремниевой кислоты происходит полное обескремнивание воды:



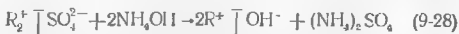
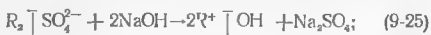
Пропускание раствора соли кремниевой кислоты сопровождается появлением в фильтруемой воде гидроксильного иона (противоиона), тормозящего процесс поглощения иона кремниевой кислоты:



Образование гидроксильного противоиона сказывается как на остаточной концентрации кремниевой кислоты в фильтрате, так и на величине кремнеемкости виоонита. Например, при фильтровании воды, содержащей 10 мг/кг SiO_3^{2-} в виде H_2SiO_3 , кремнеемкость анионита в 2,5 раза больше, чем при фильтровании раствора Na_2SiO_3 с таким же содержанием SiO_3^{2-} . Поэтому для глубокого обескремнивания воды важно наиболее полное удаление из нее всех катионов, в том числе и катионов натрия, до поступления ее на сильноосновные анионитные фильтры.

Рабочая кремнеемкость в значительной степени зависит также от концентрации кремниевой кислоты в исходной воде и концентрации HSiO_3^- в фильтрате в момент отключения фильтра на регенерацию, а именно: она тем выше, чем выше концентрация кремниевой кислоты в исходной воде перед сильноосновным анионитным фильтром и допускаемый проскок кремниевой кислоты в фильтрат.

После замены обменных анионов анионом OH^- растворенных в воде электролитов виоонит истощается и теряет способность обменивать ионы. Регенерация анионита достигается фильтрованием через слой истощенного виоонита растворов NaOH , Na_2CO_3 , NaHCO_3 или NH_4OH , например:



Расход щелочи для регенерации слабоосновных виоонитов достаточен в двукратном количестве против стехиометрического, т. е. 2 г-экв/г-экв. При повторном использовании щелочных отмывочных вод для регенера-

или виолонита расход реагента можно снизить на 15—30%. Необходимая концентрация регенерационного раствора составляет 2—4%. Отмывку анионитов и приготовление регенерационного раствора следует производить на H-катионированной воде.

Сильноосновные аниониты регенерируются 4%-ным раствором едкого натра. Использование для этой цели бикарбоната натрия или соды невозможно вследствие недостаточно глубокой регенерации ион анионита и увеличения концентрации противоиона (HCO_3^- , CO_3^{2-}) в процессе анионирования воды.

Эффект глубокого обескремнивания достигается лишь при больших расходах едкого натра на регенерацию анионита. Для большинства сильноосновных анионитов удельный расход едкого натра на регенерацию превосходит стехиометрический в несколько раз. Например, для анионита АВ-17 он составляет 500 г/г-экв или 12,5 г-экв/г-экв, а для анионита ЭДЭ-10П 760 г/г-экв или 19 г-экв/г-экв. Путем повторного использования регенерационных и отмывочных вод после регенерации сильноосновного анионита для регенерации слабоосновного анионита общий удельный расход щелочи на регенерацию анионитов может быть снижен до 70—80 г/г-экв всех поглощенных анионов.

На глубину обескремнивания воды и на кремнеемкость анионитов оказывают также влияние следующие факторы: концентрация регенерационного раствора, начальная концентрация H_2SiO_3^- в H-катионированной воде, скорость фильтрования воды, содержание других анионов и свободной CO_2 , а также солей в H-катионированной воде.

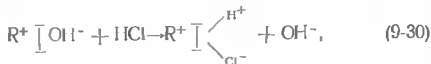
Некоторые аниониты с течением времени «стареют» вследствие окисления их растворенным в воде кислородом и загрязнения органическими веществами. В стареющих анионитах изменяются их технологические качества и снижается рабочая обменная емкость.

Квк правило, анионит должен поглощать из воды только анионы кислот, не вступая при этом в ионный обмен с катионами. Если же в анионите в результате окисления появляются активные группы, способные к катионному обмену, анионит приобретает способность поглощать из воды не только анионы кислот, но и катионы водорода, т. е. становится амфотерным. В этом случае

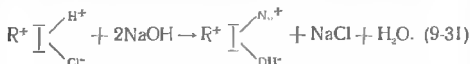
вместо обычной реакции, например, с соляной кислотой



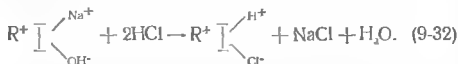
протекает следующая реакция:



где см. по лому $R^+ \text{---} \begin{matrix} \text{H}^+ \\ \text{---} \\ \text{Cl}^- \end{matrix}$ обозначен стареющий истощенный анионит. При регенерации его едким натром происходит обмен ионов по уравнению



При последующем фильтровании через анионит H-катионированной воды происходит обогащение фильтрата солями:



Для того чтобы предотвратить загрязнение анионитов органическими веществами, необходимо тщательно очищать от них воду перед подачей ее на анионитные фильтры. Кроме коагуляции, это достигается дополнительным фильтрованием обеззараживаемой воды через активированный уголь. Недостаток активированного угля как сорбента органических веществ состоит в малой емкости его по органическим веществам и сложности регенерации.

В последнее время освоено промышленное производство стойких против окисления нестареющих макроэлектратных анионитов, обладающих способностью поглощать органические вещества, не снижая при этом заметно ионообменной способности. Удаление сорбированных органических веществ из высокопористых анионитов достигается периодической промывкой их горячим раствором поваренной соли или другими реагентами.

9-4 ОБОРУДОВАНИЕ ИОНООБМЕННЫХ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

а) Ионитные фильтры

Основными элементами ионообменных водоподготовительных установок являются ионитные фильтры, аналогичные по устройству осветлительным фильтрам.

Ионитные фильтры по принципу действия подразделяются на четыре типа: а) катионитные; б) анионитные; в) смешанного; г) непрерывного действия. Фильтры смешанного действия подразделяются в свою очередь на насыпные с внутренней и с внешней регенерацией и плавильные. По способу выполнения технологических операций ионитные фильтры делятся на: а) параллельноточные, в которых обрабатываемая вода и регенерационный раствор пропускаются через фильтр в одном направлении; б) противоточные, в которых вода и регенерационный раствор пропускаются через фильтр в противоположных направлениях. Кроме того, различают фильтры первой, второй и третьей ступени. По конструктивному оформлению различают одноэтажные и двухэтажные ионитные фильтры. В последних в одном корпусе объединяются два фильтра, имеющие раздельное управление. Кроме вертикальных ионитных фильтров, иногда применяются горизонтальные ионитные фильтры.

На рис. 9-5, а и б показаны типовые конструкции одноэтажных Н-катионитных фильтров I, II и III ступеней. II-катионитный фильтр представляет собой цилиндрический корпус со сферическими днищами, рассчитанный на рабочее давление 6 кгс/см² и пробное давление 9 кгс/см². Внутри фильтра на нижнем днище из кислотостойкого бетона расположено щелевое дренажное устройство, служащее для равномерного отвода воды по всему сечению фильтра. Дренажное устройство выполняется из нержавеющей стали в виде трубок, отходящих от центрального сборного коллектора, отверстия в которых сверху прикрыты полужоухами. Трубки на половину своего диаметра залиты бетоном. Вверху фильтра расположено тарельчатое распределительное устройство, выполненное из нержавеющей стали. Внутренняя поверхность фильтра имеет кислотостойкое покрытие. Все трубопроводы, работающие в условиях кислой среды, выполнены из нержавеющей стали или

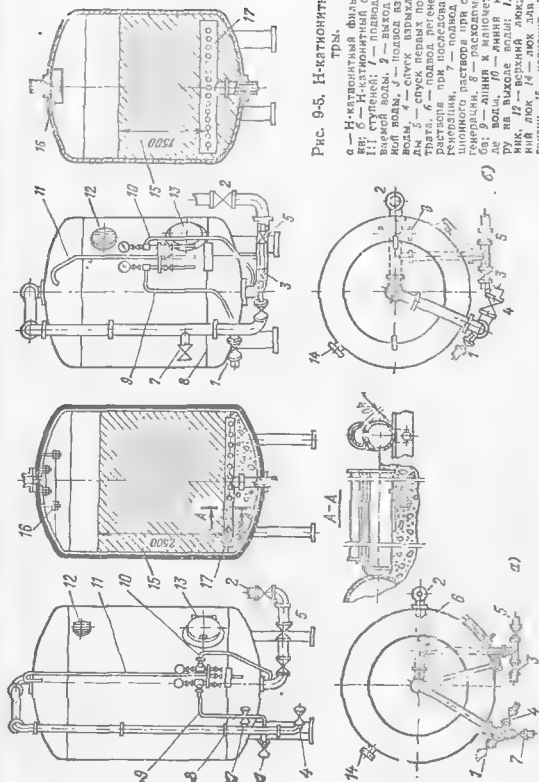


Рис. 9-5. Н-катодные филь-
тры.

а — Н-катодный фильтр I ступе-
ня; б — Н-катодный фильтр II и
III ступеней; 1 — подвод обраба-
тываемой воды, 2 — выход обрабаты-
ваемой воды, 3 — подвод взрыхляющей
воды, 4 — слухк взрыхляющей во-
ды, 5 — слухк первых порций филь-
трата, 6 — подвод регенерационного
раствора при последовательной ре-
генерации, 7 — подвод регенера-
ционного раствора при обычной ре-
генерации, 8 — расходомерная ша-
ба; 9 — линия к манометру на вхо-
де воды, 10 — линия к маномет-
ру на выходе воды; 11 — воздуш-
ный люк, 12 — верхний люк; 13 — ниж-
ний люк, 14 — люк для гидропере-
грузки, 15 — катодит, 16 — верхнее
распределительное устройство, 17 —
дренажное устройство.

представляют собой кислотостойкие винипластовые трубы либо стальные гуммированные или покрытые изнутри кислотостойкими лаками трубы. Кислотоупорные мембранные вентили также покрываются перхлорвиниловым лаком или гуммируются резиной, а вся мелкая арматура выполняется из нержавеющей стали.

Фильтр имеет верхний и нижний люки для установки и монтажа внутренних устройств, ремонта и ревизии состояния фильтра в условиях эксплуатации, а также воздушник для удаления воздуха и снятия давления с фильтра.

Фильтр загружен катионитом, высота слоя которого составляет в фильтрах I ступени 2—2,5 м, в фильтрах II и III ступеней 1,5 м. Размер рабочих зерен составляет для фильтров I ступени 0,5—1,2 мм и для фильтров II и III ступеней 1—1,5 мм.

Со стороны фронта фильтра имеются трубопроводы для подвода и отвода обрабатываемой воды, подвода и спуска промывочной воды, спуска первых порций фильтрата и подвода регенерационного раствора. Фильтр снабжен контрольно-измерительными приборами: расходомером со счетчиком на трубопроводе подачи воды в фильтр и двумя манометрами на входе и выходе воды из фильтра.

Конструкции одноэтажных натрий-катионитных и анионитных фильтров аналогичны рассмотренным.

Двухэтажный катионитный фильтр является одним из возможных вариантов вертикального катионитного фильтра большой производительности. Он представляет собой два фильтра диаметром 3,4 м, объединенных в одном корпусе с внутренним сферическим днищем, разделяющим оба фильтра. Ввиду ограничения габаритов высота слоя катионита в каждой части фильтра уменьшается до 2 м. Применение двухэтажных катионитных фильтров позволит снизить расход металла на изготовление оборудования водоподготовительных установок и получить экономию в объеме помещения для размещения фильтров.

Противоточный катионитный фильтр (рис. 9-6) отличается от параллельноточного тем, что он оборудован двумя дренажными системами: верхней и нижней. Верхняя дренажная система располагается в слое ионита на глубине 150—300 мм. Такое заглубле-

ние делается в целях устранения «заклеивания» щелей дренажной системы мелочью скапливающейся на самом верху фильтрующего слоя. Регенерирующий раствор подается через распределительную систему под верхним днищем в виде звезды из труб со щелями и пропускается сверху вниз. Через эту же систему производится сброс воды после взрыхления ионита.

Фильтрование исходной воды производится снизу вверх, в результате чего покидающая фильтр через верх-

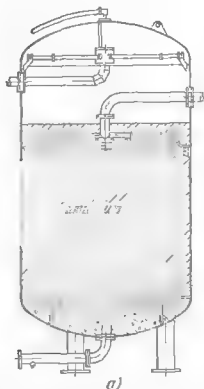
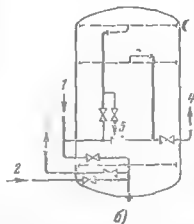


Рис. 96. Противоточный катионитный фильтр.

а — продольный разрез, *б* — схема фрейта, 1 — вход обрабатываемой воды, 2 — подвод регенерационного раствора и воды для взрыхляющей промывки; 3 — выход обработанной воды; 4 — отвод регенерационного раствора; 5 — дренаж.



нюю дренажную систему обработанная вода приходит в соприкосновение с наиболее хорошо отрегенированным слоем ионита¹. При этом достигается более глубокий ионный обмен и, что особенно важно, заметно снижается удельный расход реагента на регенерацию ионита до значений, близких к стехиометрическому (теоретическому) количеству, без ухудшения глубины ионирования, но с некоторым понижением (примерно на 20%) обменной емкости ионитов.

¹ Возможно и противоположное направление потоков, т. е. регенерационного раствора снизу вверх, а обрабатываемой воды сверху

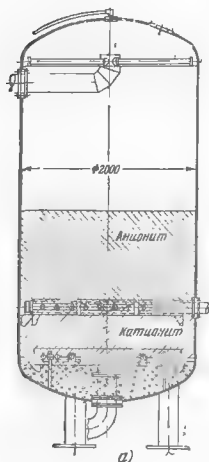
Для ступенчато-противоточного ионирования применяется двухэтажный фильтр с глухой поперечной перегородкой, в котором требуемый объем ионита разделен на две неравные части: в верхнюю секцию фильтра загружается 70—75% ионита, в нижнюю 25—30%. Регенерация обеих секций осуществляется одновременно при истощении ионита в нижней части. При этом все количество реагента, необходимое для регенерации обеих секций, пропускается сверху вниз через нижнюю секцию, а затем, после сброса первых регенерационных вод в канализацию, через верхнюю секцию. При этих условиях удельный расход регенерирующего реагента в нижней секции превышает в 4—5 раз стехиометрический, что обеспечивает достаточно полное удаление ионов, задержанных при фильтровании обрабатываемой воды. Ионирование воды осуществляется путем последовательного фильтрования воды сначала через верхнюю секцию с большим количеством ионита снизу вверх, а затем через нижнюю секцию с меньшим количеством ионита сверху вниз. Аналогично противоточным фильтрам покидающая нижнюю секцию вода соприкасается с наименее отрегенированным ионитом, что значительно улучшает эффект ионирования и снижает расход регенерирующего реагента на 40—50%. Применение ступенчатого противоточного принципа для анионирования позволяет значительно уменьшить потребность в дорогостоящей и дефицитной гидроокиси натрия.

Ионитный фильтр смешанного действия (ФСД) (рис. 9-7) заправляется катионитом и анионитом, которые после их раздельной регенерации соответственно катионом и щелочью тщательно перемешиваются путем подачи в фильтр снизу вверх сжатого воздуха. При пропуске воды через ФСД происходит глубокое обессоливание и обескремнивание воды благодаря наличию в нем огромного числа ступеней П- и ОН-ионирования. Чтобы осуществить регенерацию истощенного ФСД, необходимо произвести разделение ионитов путем взрыхляющей промывки водой снизу вверх.

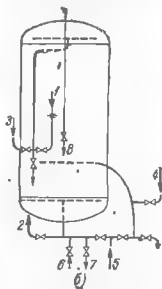
ФСД применяются при обессоливании и обескремнивании конденатов, а также в качестве барьерных фильтров на установках, обессоливающих природные воды. Периодическое разделение ионитов для регенерации и последующее перемешивание их являются обязательными требованиями к физической характеристике загруженных

в эти фильтры ионитовых материалов (механическая прочность, различие в плотностях ионитов, форма частиц и пр.). Наиболее подходящими для загрузки ФСД являются катионит КУ-2 и анионит АВ-17. В фильтре установлены три распределительных устройства: верхнее, среднее и нижнее. Верхнее распределительное устройство служит для подвода исходной воды, подачи

Рис 9-7. Ионитный фильтр смешанного действия.



а — продольный разрез, б — схема фронта, 1 — вход обрабатываемой воды, 2 — выход отработанной воды, 3 — подвод раствора щелочи, 4 — подвод раствора кислоты, 5 — подвод осветленной воды, 6 — подвод сжатого воздуха, 7 — выход отмывочной воды, 8 — отвод воздуха



регенерационного раствора щелочи и воды на отмывку, а также для отвода в дренаж воды при взрыхлении загрузки. Среднее распределительное устройство служит для подачи регенерационного раствора кислоты и вывода отработанного регенерационного раствора щелочи. Нижнее распределительное устройство предназначается для вывода обессоленной воды и отработанного раствора кислоты, а также для подачи в фильтр воды для разделения ионитов и воздуха для их перемешивания. Комму-

пикация фронта фильтра позволяет во время регенерации одного из ионитов пропускать через другой (нерегенерируемый в это время) ионит «блокирующую» воду с малым расходом для предотвращения попадания раствора щелочи в катионит или кислоты в анионит.

В последние годы широкое применение получили ФСД с выносной («внешней») регенерацией в особом регенерационном аппарате 6 (рис. 9-8). Наличие готовой загрузки отрегенированных ионитов в запасном бункере 1 значительно сокращает продолжительность вывода ионитных фильтров на регенерацию. В то время как

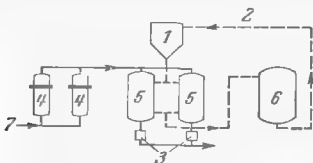


Рис 9-8 Схема установки для обессоливания конденсата с внешней регенерацией ионитов

1 - бункер для смеси отрегенированных ионитов 2 - гидроперегрузчик отрегенированных ионитов 3 - лопушки для ионитов; 4 - осветлительные фильтры, 5 - фильтры смешанного действия; 6 - внешний регенератор, 7 - вход воды.

при «внутренней» регенерации ФСД выводятся из работы на 4—5 ч, при «внешней» регенерации истощенные иониты заменяются путем гидроперегрузки заранее отрегенированной смесью катионитов и анионитов в течение не более 1 ч, что увеличивает долю рабочего времени ФСД. Кроме того, упрощаются конструкции внутренних устройств и наружных коммуникаций на фронте этих фильтров, что облегчает обслуживание и ремонт аппаратуры и повышает степень ее готовности. Применение «внешней» регенерации исключает возможность попадания регенерационных растворов кислоты или щелочи в конденсат, сокращает количество арматуры, устраняет негодность в кислотостойких материалах и покрытиях для рабочих фильтров, упрощает конструкцию последних,

дает возможность повысить скорость фильтрования конденсатов (до 125 м/ч), снижает потребность в контрольно-измерительной аппаратуре и т. д.

В Японии, Франции и США успешно эксплуатируются фильтры для непрерывного противоточного процесса ионного обмена с выносной регенерацией ионитов в схемах установок для приготовления добавочной питьевой воды парогенераторов и для очистки конденсатов.

Процесс осуществляется в последовательно включенных колоннах (рабочей, регенерационной и отмывочной). В рабочих и регенерационных колоннах используется компактный движущийся слой ионита, а в отмывочных — псевдоожиженный. На этих установках автоматически поддерживаются на заданном уровне расходы исходной воды, регенерационного раствора, разбавляющей и отмывочной воды, а циркуляция ионита регулируется путем изменения интервала времени, в течение которого опорожняется бункер отмывочной колонны. При изменении состава исходной воды соответственно изменяются скорости ввода регенерационного реагента и циркуляции ионита. Транспорт ионита осуществляется гидравлическим способом; каждая колонна рассчитывается в соответствии с характеристиками осуществляемого в ней процесса. Колонны оснащены устройствами для распределения потоков жидкости в слое ионита.

Поддержание ионитового слоя в рабочей и регенерационной колоннах в уплотненном состоянии предотвращает ожижение слоя и способствует лучшему использованию ионита, повышению чистоты фильтрата. Раздельное расположение колонн при функциональной их связи для непрерывности транспортировки ионита в соответствующие аппараты позволяет разместить расположенную по ходу потока линию для транспортировки ионита в запасные бункера для регулирования потока ионита без использования клапанов, тормозящих движение и вызывающих чрезмерное его истирание. Автоматическая работа колонн истощения, регенерации и отмывки ионитов сводит к минимуму численность обслуживающего персонала.

Благодаря эффективному использованию регенерирующих реагентов резко сокращаются габариты и стоимость эксплуатации систем для нейтрализации стоков; отработавшие регенерационные растворы обрабатывают-

ся при весьма малых их расходах и минимальных концентрациях.

На рис. 9.9 изображена схема непрерывного пульсирующего процесса для циклов истощения, регенерации и отмывки (для II-катионита и для OII-анионита).

В рабочем цикле (истощение ионита) исходная вода поступает через впускной клапан 1, проходит снизу вверх через уплотненный слой ионита и выходит через выпускной клапан 2. В это время рабочая колонна работает под избыточным давлением. Такая работа аппарата продолжается заданное время, определяемое желательной частотой удаления истощенного ионита (рециркуляции), которая является функцией концентрации загрязнений в исходной воде и рабочей обменной емкости ионита.

Для удаления истощенного ионита из рабочей колонны прекращается подача обрабатываемой воды путем закрытия клапана 1 и открытия разгрузочного клапана 3 на 30 сек; в течение этого

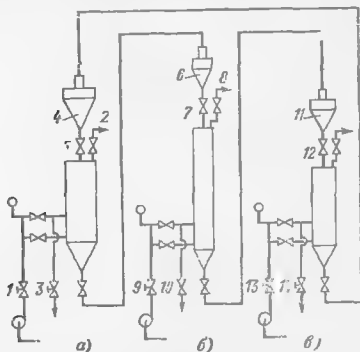


Рис. 9.9. Схема автоматизированного непрерывно противоточного ионообменного процесса.

а — рабочая колонна б — регенерационная колонна;
в — отмывочная колонна.

периода внутреннее давление в аппарате снижается. Слой ионита в рабочей колонне движется сверху вниз и одновременно свежерегенерированный ионит поступает из запасного буфера 4 в рабочую колонну через клапан 5, расположенный на верхней крышке этого аппарата, в количестве, достаточном для заполнения последующего. В конце выгрузочного цикла клапан 3 закрывается, а клапан

подачи исходной воды / открывается и рабочая колонна вновь становится под давлением. И тогда нит из нижней части этой колонны транспортируется в регенерационную колонну под действием внутреннего давления, создаваемого в рабочей колонне исходной водой.

Истощенный нит и ступит в запальной бункер 6, расположенный на верхней крышке регенерационной колонны. Нит движется по трубопроводу, в котором отсутствуют регулируемые клапаны (во избежание торможения или ограничения потока нита). Поток нита прекращается автоматически под действием гидравлического сопротивления в запальном бункере 6 после заполнения его нитом. Когда нит из бункера перейдет в регенерационную колонну и бункер опорожнится, транспорт нита возобновляется автоматически. Так как подача нита в регенерационную колонну производится чаще всего в меньший промежуток времени цикла регенерации, то всегда имеется непрерывное движение нита из рабочего аппарата в регенерационную колонну.

Регенерационная колонна гидравлически подобна рабочему аппарату. Эта колонна полностью заполнена нитом для поддержания плотного слоя, регенерация нита ведется с помощью регенерирующего реагента и разбавляющей его вода поступают в нижнюю часть колонны, движется снизу вверх через слой нита и отводятся из верхней части аппарата через выпускной клапан 8. Во время этого периода регенерационная колонна находится под давлением регенерационного раствора. Регенерирующий реагент подается в колонну в течение определенного заданного промежутка времени. В конце этого периода выпускной клапан 9 закрывается и поток регенерирующего раствора на короткий промежуток времени прекращается. Затем разгрузочный клапан 10 открывается и давление в колонне снижается, т. е. осуществляется разгрузочный цикл значительного времени процесса в рабочем аппарате.

Во время разгрузочного цикла нит идет сверху вниз, пока нит не упадет в бункер 6 через клапан 7 и ополнит колонну. В конце короткого разгрузочного периода поток регенерирующего раствора возобновляется и снова колонна снова под рабочим давлением. Полностью регенерированный нит из нижней части колонны транспортируется в запальный бункер 11 на верхней крышке отмывочного аппарата. Мерный запальный бункер 11 над отмывочной колонной точно регулирует поток нита в соответствии с продолжительностью периода, определяющего частоту работы регенерационной колонны и включение автоматического клапана 12, расположенного под мерным бункером.

Отмывочная колонна удаляет из регенерированного нита последние следы регенерирующего реагента, посторонние загрязнения и мелкие частицы нита. Данная колонна работает на определенном слое, состоящая из двух гидратов, при котором нит движется сверху вниз, а отмывочная вода — снизу вверх. Отмытый, полностью регенерированный нит после открытия выпускного клапана 13 подается в запальный бункер 4 рабочей колонны за счет разности гидравлического напора между отмывочной колонной и рабочим аппаратом. Поток нита автоматически прекращается при заполнении запального бункера и рабочей колонны после закрытия клапана 13 и открытия разгрузочного клапана 14.

Перечисленные выше процессы являются дозированием регенерирующего реагента, и они ведутся автоматически.

Обычные ионообменные установки выдают сточные воды после регенерации периодически ооольшими объемами, что усложняет их обезвреживание. Стоки установок непрерывного процесса ионного обмена характеризуются постоянным малым расходом, что облегчает и удешевляет их обезвреживающую обработку.

Расход реагентов на регенерацию ионитов в противоточных фильтрах непрерывного действия составляет 1,6—1,8 от стехиометрического количества.

Технико-экономические расчеты показывают, что по сравнению с установками с неподвижным слоем ионитов фильтры для непрерывного противоточного процесса ионного обмена дают экономию капитальных затрат от 20 до 40% и эксплуатационных расходов на реагенты от 25 до 40%. Снижение эксплуатационных расходов обусловлено применением принципа противотока, а снижение капитальных затрат — высокими скоростями фильтрования (до 75 м/ч). Предельная скорость лимитируется истиранием ионитов. Хотя в установках непрерывного процесса ионного обмена возможна более высокая степень истирания ионитов, чем в установках с неподвижным слоем последних, но это более чем окупается уменьшенным количеством ионитов в системе, в результате чего общие затраты на замену ионитов получаются такими же, как на обычных установках, или даже меньшими.

6) Вспомогательное оборудование

Кроме фильтров, являющихся основным оборудованием ионитных установок, в состав последних входит еще вспомогательное оборудование для обслуживания работы фильтров. К числу такого оборудования относится реагентное хозяйство для обеспечения регенерации ионитных фильтров.

На крупных На-катионитных установках обычно применяется «мокрое хранение» соли, которое выполняется по разным схемам. На рис. 9-10 приведена схема мокрого хранения соли с подачей раствора ее водяными эжекторами. В приведенной схеме соль в количестве, рассчитанном на 2—3-месячную потребность (150—250 т), саморазгружающимся автотранспортом или непосредственно из вагонов загружается в железобетонные баки-хранилища (ячейки) и заливается водой. Таким образом,

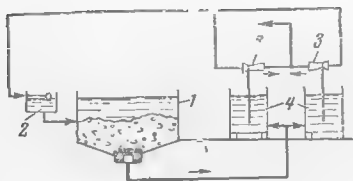


Рис. 9 10. Схема мокрого хранения соли с подачей раствора водяными эжекторами.

1 — бак хранения; 2 — регулятор уровня; 3 — эжектор; 4 — расходный бак насыщенного раствора соли.

в баках всегда имеется в большом количестве насыщенный раствор соли, поступающий самотеком в мерные расходные баки 4, из которых он забирается водяными эжекторами 3, разбавляется в них до необходимой концентрации и подается в регенерируемый фильтр.

На рис. 9-11 приведена схема мокрого хранения соли на открытой бетонной площадке 2 в виде кучи 3 с раз-

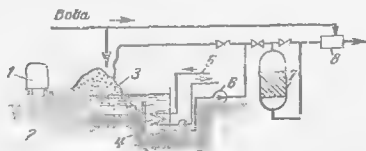


Рис. 9 11. Открытый склад для мокрого хранения соли с подогревом раствора в зимнее время.

мывом ее в небольшие «дежурные» подземные ячейки 4; из последних насосом 6 насыщенный раствор соли пропускается через осветлительный фильтр 7 и подается в смеситель 8 для разбавления водой до концентрации 6—10%. Для крупных водоподогревательных установок, расположенных в районах с суровым климатом, склад для «мокрого хранения» соли рассчитывается на все ее количество, расходуемое в зимний период, с подогревом

боли паром 5. Заготовка соли производится в теплые время года железнодорожным транспортом 1.

На рис. 9-12 показана схема кислотного хозяйства. Кислота из железнодорожной цистерны 1 перекачивается с помощью сифона 2 в стационарную цистерну 3. Зарядка сифона производится вакуум-насосом, для защиты которого от попадания кислоты установлен промежуточный бачок 5. Мерный бачок 5 заполняется также с помощью вакуум-насоса. Из бака-мерника кислота забирается водяным эжектором 4, в котором она разбавляется

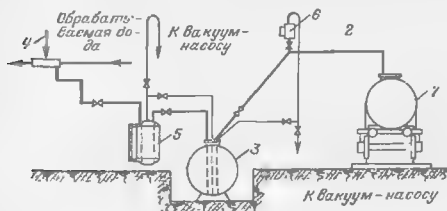


Рис. 9-12. Схема кислотного хозяйства ионитных установок.

ся до концентраций 1—1,5% и подается в регенерируемый фильтр. Емкость мерника рассчитывается обычно на количество кислоты, необходимое для регенерации одного или нескольких фильтров. Концентрация кислоты фиксируется по специальному указателю (концентратомеру). Для обеспечения регулирования разбавления на трубопроводе, подводящем воду к эжектору, устанавливается расходомер с регулирующим вентилем.

Суммарная емкость кислотных цистерн должна обеспечивать не менее чем трехмесячный запас кислоты. Если емкость железнодорожной цистерны превышает 150-суточную потребность в кислоте, следует предусматривать доставку кислоты в контейнерах или автоцистернах из расчета на трехмесячный запас. Кислотные цистерны желательно располагать в отапливаемом помещении, так как серная кислота на морозе замерзает, особенно в соединительных трубах и арматуре. Если цистерны невозможно расположить в помещении, то их

необходимо оснащать специальной рубашкой с подводом пара или горячей воды, а наружную поверхность цистерн и соединительных труб покрывать теплоизоляцией.

На рис. 9-13 показана схема щелочного хозяйства. В этой схеме предусмотрена возможность использования как жидкого, так и твердого едкого натра (или Na_2CO_3 или NaHCO_3) с растворением его в специальном баке 1. В этот бак можно сливать готовый концентрированный раствор из специальных контейнеров или цистерны 2 для хранения запаса концентрированного едкого натра. Из бака 1 раствор NaOH насосом 9 подается в расход-

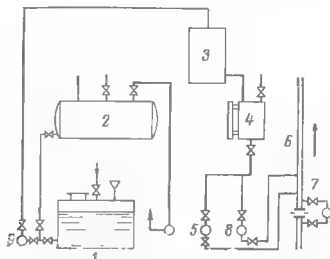


Рис. 9-13. Схема щелочного хозяйства химических установок.

ный бак 3. При подаче на анионитный фильтр раствора едкого натра концентрации 4% концентрированный раствор из мерника 4 нагнетается насосом-дозатором 5 в трубопровод 6, идущий к фильтру. Необходимое соотношение между количествами воды, подаваемой по трубопроводу 6, и концентрированного едкого натра устанавливается по показаниям расходомера 7 и расходу концентрированного раствора из мерника 4 (по водоуказательному стеклу). Для подачи раствора едкого натра другой концентрации используется насос-дозатор 8, который подает необходимую дозу концентрированного едкого натра для получения в трубопроводе 6 раствора едкого натра заданной концентрации.

9-5 СХЕМЫ ИОНООБМЕННЫХ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПИТАНИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

На рис. 9-14 приведены следующие основные принципиальные схемы ионообменных установок для приготовления добавочной питательной воды для парогенераторов, расположенные в порядке их усложнения. Предполагается, что на ионитные фильтры поступает либо прозрачная грунтовая или водопроводная питьевая вода, либо поверхностная вода, прошедшая предочистку.

Схема 1. Натрий-катионирование применяется для смягчения природных вод с малой карбонатной жесткостью (щелочностью) при возмещении любых потерь пара и конденсата на ТЭС с барабанными парогенераторами, а также для смягчения природных вод с повышенной карбонатной жесткостью при возмещении малых потерь пара и конденсата на тепловых электростанциях с барабанными парогенераторами низкого и среднего давлений.

Применимость натрий-катионирования ограничивается размером продувки по щелочности в значительной относительной щелочности исходной воды. Эти ограничения характеризуются выполнением следующих неравенств:

$$Ж_k \leq \frac{\varphi}{1 + \varphi} \frac{Щ_{кв}}{\alpha}; \quad (9-33)$$

$$\alpha_{пв} \geq 200 Ж_k, \quad (9-34)$$

где $Ж_k$ — карбонатная жесткость (щелочность) воды, мг-экв/кг, φ — степ. продувки; α — добавок смягченной воды к конденсату (потери пара и конденсата); $Щ_{кв}$ — щелочность котловой воды, мг-экв/кг; $\alpha_{пв}$ — сухой остаток исходной воды, мг/кг.

Схема 2. Натрий-катионирование со снижением щелочности воды путем подкисления в декарбонизаторе применяется для обработки воды с повышенной карбонатной жесткостью (щелочностью) после предочистки ($Ж_k = 2 \div 5$ мг-экв/кг) при возмещении сравнительно небольших потерь пара и конденсата на ТЭС с барабанными парогенераторами низкого и среднего давлений.

Схема 3. Н-катионирование с голодной регенерацией, декарбонизация и натрий-катионирование применяются для обработки вод с повышенной карбонатной жесткостью (щелочностью) после предочистки и при сравнительно малом содержании солей натрия при возмещении любых потерь пара и конденсата.

Схема 4. Параллельное H—Na-катионирование применимо в тех случаях, когда вода после гред. очистки имеет $Ж_k > 0,5 Ж_0$; $C_{SO_4^{2-}} + C_{Cl^-} + C_{NO_3^-} < 7$ мг-экв/кг и когда необходимо получить умягченную воду с заданной остаточной щелочностью не выше 0,35 мг-экв/кг.

При параллельном H—Na катионировании умягчаемая остаточная в два раза больше жесткостью подается на H-катионирование.

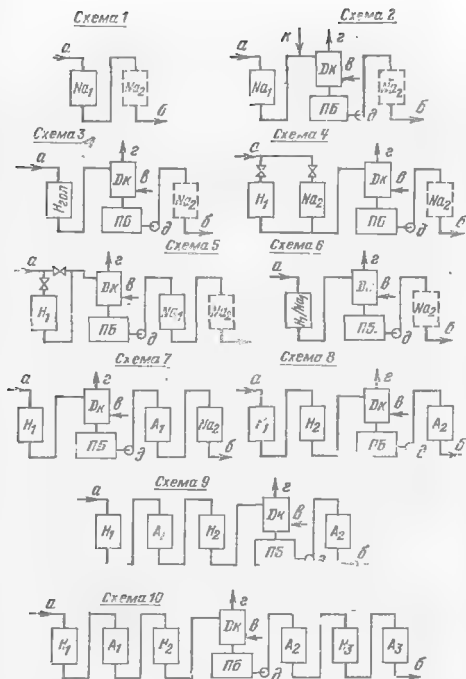


Рис. 9-14. Основные принципиальные схемы воздухоподогревательных установок для приготовления деаэрированной питательной воды для парогенераторов.

Na₁ — натрий-кальциевый фильтр первой ступени; Na₂ — натрий-кальциевый фильтр второй ступени (барьерный); К — водосерный клапан для снижения щелочности воды; Н₁, П₁ и П₂ — водосерный клапаны первой, второй и третьей ступеней; А₁, А₂ и А₃ — анионитные фильтры (сильноосновной, второй (слабоосновной) и третий (слабоосновной) ступеней); ПБ — промежуточный бак; а — подача воздуха в деаэризатор; б — выход углекислоты в атмосферу; д — промежуточный насос.

тионитный и Na-катионитный фильтры, после чего щелочная Na-катионированная и кислая H-катионированная вода поступают в общий трубопровод, где она коррозийная и газ происходит из частичной нейтрализации с образующимся карбонатом кальция и свободной углекислоты. В целях предотвращения коррозии подогревателей химическим обработкой воды и трубопроводов за ними холодной H-Удаление свободной углекислоты (см. гл. 6).

Означив величину остаточной щелочности смеси H- и Na-катионированной воды через $Ш_{ост}$, мг-экв/кг, количества воды, поступающей в H-катионитные фильтры, в долях единицы, x , z и a в Na-катионитные фильтры — через $(1-x)$, получим равенство:

$$(1-x)C_{HCO_3^-} - x(C_{SO_4^{2-}} + C_{Cl^-} + C_{NO_3^-}) = Ш_{ост}, \quad (9-35)$$

где $C_{HCO_3^-}$, $C_{SO_4^{2-}}$, C_{Cl^-} и $C_{NO_3^-}$ — концентрации анионов HCO_3^- ,

SO_4^{2-} , Cl^- и NO_3^- в воде, поступающей на катионитные фильтры, мг-экв/кг.

Согласно этому равенству щелочность Na-катионированной части воды должна полностью нейтрализовать кислотность H-катионированной части ее, кроме того, создать избыточную щелочность $Ш_{ост}$, равную $Ш_{ост}$, мг-экв/кг.

Из равенства (9-35) определим долю воды, направляемую на H-катионитные фильтры:

$$x = \frac{C_{HCO_3^-} - Ш_{ост}}{C_{HCO_3^-} + C_{SO_4^{2-}} + C_{Cl^-} + C_{NO_3^-}}, \quad (9-36)$$

и долю воды, направляемую на Na-катионитные фильтры:

$$1-x = \frac{C_{SO_4^{2-}} + C_{Cl^-} + C_{NO_3^-} + Ш_{ост}}{C_{HCO_3^-} + C_{SO_4^{2-}} + C_{Cl^-} + C_{NO_3^-}}. \quad (9-37)$$

Схема параллельного H—Na-катионирования требует защиты катионизирующей системы от кислотной коррозии при применении нейтрализации кислых вод перед поступлением в катионитную.

Основным преимуществом схемы параллельного H—Na-катионирования является возможность получения умягченной воды с минимальной щелочностью, что очень важно в случаях наличия парогенераторов высокого давления или больших дозах умягченной обработанной воды.

К недостаткам параллельного H—Na-катионирования могут быть отнесены уменьшение расхода смеси H-катионитных фильтров, загруженных сульфогелем, при обработке вод с повышенной жесткостью, а также снижение эффекта умягчения вод с высоким содержанием натриевых солей.

Схема 5. Последовательное Н — Na-катионирование применяется для обработки сырого минерализованного вод с соледержанием выше 1000 мг/кг при $J_{\text{жк}} < 0.5 J_0$ и при $C_{\text{SO}_4^{2-}} + C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{NO}_3^-} < 7$ мг-экв/кг. При обработке воды по этой

схеме щелочность смеси H-катионированной и исходной воды перед декарбонизатором должна быть в пределах 0,7—1,0 мг-экв/кг.

При последовательном Н — Na-катионировании предусматривается пропуск части x умягчаемой осветленной воды через группу H-катионитных фильтров. Далее кислая H-катионированная вода смешивается с остальным количеством $(1-x)$ исходной осветленной воды. При этом происходит нейтрализация минеральных кислот, содержащихся в H-катионированной воде, бикарбонатами кальция и магния, находящимися в жесткой воде, с образованием сульфатов и хлоридов кальция и магния. Реакции, происходящие при этом, могут быть выражены в ионной форме: $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$, или в молекулярной форме:



Таким образом, в результате смешения H-катионированной воды с умягчаемой водой карбонатная жесткость последней частично переходит в некарбонатную. Для удаления образовавшейся свободной углекислоты смесь пропускается через декарбонизатор и далее направляется в промежуточный бак. Из последнего умягчаемая вода, освобожденная от углекислоты, подается насосом в группу Na-катионитных фильтров. Удаление свободной углекислоты перед прокачиванием смеси через Na-катионитные фильтры производится для получения относительной небольшой щелочности. При наличии значительного количества углекислоты возможно увеличение щелочности против заданной величины за счет поглощения катионитом катионов водороды, образующегося при диссоциации угольной кислоты:



При фильтровании через Na-катионитные фильтры свободной от углекислоты смеси H-катионированной и сырой вод происходит практически полное умягчение ее.

Для мягкой x и сырой воды $(1-x)$ устанавливаются таковы, чтобы бикарбонатная щелочность сырой воды полностью нейтрализовала кислотность мягкой H-катионированной воды и, кроме того, избыток ее создавал бикарбонатную щелочность смеси $\text{Щ}_{\text{см}}^0$ перед Na-катионитными фильтрами в указанных выше пределах. Такой же будет после Na-катионитных фильтров остаточная щелочность умягченной воды, а именно:

$$\text{Щ}_{\text{ост}} = \text{Щ}_{\text{см}}^0 = (1-x) C_{\text{HCO}_3^-} - x (C_{\text{SO}_4^{2-}} + C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{NO}_3^-}) \quad (9-42)$$

Из этого равенства можно определить доли воды x и $(1-x)$ по формулам (9 36) и (9 37)

В отличие от процесса Н-катионирования по предыдущей схеме отпеснение Н-катионитных фильтров на регенерацию при последовательном Н — Na-катионировании производится не по пропуску солей жесткости (катионов Ca^{2+} и Mg^{2+}) до 40 мг-экв/кг, а при повышении щелочности Н-катионированной воды до 0,7—1 мг-экв/кг. Такой режим работы Н-катионитных фильтров позволяет использовать почти все обменные катионы водорода для снижения жесткости воды, чего нет в случае параллельного Н — Na-катионирования. Так как величина остаточной жесткости Н-катионированной воды при последовательном Н — Na-катионировании значения не имеет, то удельный расход 100%-ной серной кислоты, потребной для регенерации Н-катионита, может быть снижен почти до стехиометрического расхода (1,03—1,15 г-экв/г-экв).

Основными преимуществами последовательного Н — Na-катионирования являются глубокое умягчение вод с высокой некарбонатной жесткостью и значительным количеством натриевых солей, а также хорошее использование емкости поглощения Н-катионитных фильтров.

Недостатком рассматриваемой схемы является необходимость последовательного прескачивания обрабатываемой воды через два фильтра, что увеличивает расход электроэнергии и требует установки дополнительных перекачивающих насосов.

Схема 6. Совместное Н — Na-катионирование применяется в тех случаях, когда сумма анионов сильных кислот не превышает 3,5—5 мг-экв/кг в воде, поступающей на фильтры, и когда получаемая по этой схеме щелочность умягченной воды ($\text{Щ}_{\text{полт}} = 1 + 1,3$ мг-экв/кг) не вызовет заметного увеличения продувки парогенераторов сверх установленных норм.

При совместном Н — Na-катионировании катионит регенерируется сначала определенным количеством кислоты, а затем, после ее отмывки, определенным количеством поваренной соли. В результате этого обменными катионами в верхних слоях катионита будут катионы H^+ , а в нижних — катионы Na^+ . При фильтровании умягченной воды через Н — Na-катионит протекают процессы водород-натрий катионирования, при которых обеспечиваются устранение кислотности из раствора и поддержание в нем необходимой щелочности в пределах 1—1,3 мг-экв/кг. Установки, работающие по схеме совместного Н — Na-катионирования, являются наиболее простыми из комбинированных Н — Na-катионитных установок.

Преимуществами совместного Н — Na-катионирования являются: а) минимальный удельный расход кислоты на регенерацию; б) минимальная потребность в кислотоупорной арматуре; в) отсутствие сброса кислых вод в канализацию что дает возможность выполнять дренажную систему фильтров из обычной стали, а также избежать устройств для предварительной нейтрализации сбросных вод перед спуском их в канализационную сеть.

Основным недостатком схемы совместного Н — Na-катионирования является резкое колебание остаточной щелочности катионированной воды в период фильтроцикла, что заметно ограничивает возможность применения этой схемы на промышленных ТЭЦ повышенного и высокого давлений.

Схемы 1—6 обычно дополняются барьерными натрий-катионитными фильтрами.

Схема 7. Частичное обессоливание воды путем Н-катионирования, декарбонизации, слабоосновного анионирования и натрий-катионирования в барьерных фильтрах применяется для доумягчения воды с повышенной некарбонатной жесткостью, снижения ее щелочности и удаления из нее сульфатов и хлоридов при возмещении больших потерь пара и конденсата на ТЭС с барабанными парогенераторами средних параметров. При применении этой схемы для парогенераторов высокого давления необходимо предварительное магnezиальное обескремнивание.

Схема 8. Двухступенчатое Н-катионирование — декарбонизация — сильноосновное анионирование осветленной воды применимо на ТЭС с барабанными парогенераторами для обработки вод с концентрацией некарбонатных солей до 1—2 мг-экв/кг, включая нитриты и нитраты.

Схема 9. Двухступенчатое II-катионирование — декарбонизация — слабоосновное и сильноосновное анионирование воды применимо для обработки воды с концентрацией некарбонатных солей до 8 мг-экв/кг, включая нитриты и нитраты, на ТЭС с барабанными парогенераторами высокого давления.

Схема 10. Трехступенчатое Н-катионирование — декарбонизация — трехступенчатое анионирование применимо на ТЭС любых параметров с прямоточными парогенераторами для обработки осветленной воды с концентрацией сульфатов, хлоридов и нитратов до 8 мг-экв/кг. В схеме 10 вместо катионитного и анионитного фильтров третьей ступени можно поставить один фильтр смешанного действия.

Рассмотрим назначение отдельных стадий обработки воды по наиболее сложной трехступенчатой схеме 10, после чего легко будет понять назначение отдельных стадий обработки воды по остальным, более легким схемам.

Первая ступень II-катионирования предназначена для обмена всех катионов, содержащихся в фильтруемой воде, на катион водорода, содержащийся в II-катионите.

Первая ступень анионирования, проводимого слабоосновным анионом, имеет целью обмен анионов сильных кислот (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), образовав-

шихся при Н-катионировании, на гидроксильные ионы содержащиеся в анионите.

Вторая ступень Н-катионирования предназначена для обмена на катион водорода катионов (главным образом натрия), случайно «проскочивших» через Н-катионитный фильтр первой ступени или попавших в фильтрат из фильтров со слабоосновным анионитом вследствие его старения или недостаточно хорошей отмывки его после регенерации. Удаление свободной углекислоты из фильтрата Н-катионитных фильтров второй ступени, осуществляемое при помощи декарбонизатора, производится с целью создания благоприятных условий для поглощения кремниевой кислоты сильноосновным анионитом. Угловая кислота, хорошо поглощаемая сильноосновным анионитом, уменьшает его креплеемкость и требует для своего удаления при регенерации анионита дополнительного количества едкого натра.

Вторая ступень анионирования, проводимого сильноосновным анионитом, имеет целью обмен аниона кремниевой кислоты на гидроксильный ион, содержащийся в анионите. Одновременно с этим происходит поглощение остатков свободной углекислоты после проведения декарбонизации частично обессоленной воды, а также незначительного проскока анионов сильных кислот через анионитный фильтр первой ступени.

Третья ступень Н-катионирования служит для обмена на катион водорода катиона натрия, могущего попасть в фильтрат из фильтра с сильноосновным анионитом вследствие преждевременного включения недостаточно отмытого фильтра а работу после его регенерации или вследствие старения анионита.

Третья ступень анионирования, проводимого с помощью слабоосновного или сильноосновного анионита, регенерируемого 2%-ным водным раствором аммиака, предназначается для улавливания продуктов растворения сульфокатионитов (органических сульфокислот), а также остатков серной кислоты при недостаточно тщательной отмывке Н-катионитного фильтра третьей ступени после его регенерации.

Схемы 7, 8, 9 и 10 при раздельной регенерации каждой ступени Н-катионитных и анионитных фильтров характеризуются большими удельными расходами реагентов для регенерации,

Для уменьшения расхода регенерирующих реагентов рекомендуется:

1. Для первой ступени Н-катионирования, а также и для первой ступени анионирования устанавливать протиготовочные фильтры либо анарты для ступенчато-противоточного ионирования (двухэтажные или сдвоенные фильтры). Наружная коммуникация ступенчато-противоточных фильтров должна обеспечивать последовательный пропуск обрабатываемой воды (сверху вниз) через первый, а затем через второй этаж фильтра, а регенерирующего раствора и стмывочной воды вначале через второй, а затем через первый этаж, но также сверху вниз.

2. Для загрузки ступенчато-противоточных ионитных фильтров использовать катиониты разл. природы, например, для загрузки первого этажа двухэтажного катионитного фильтра использовать сульфуголь; для загрузки второго этажа — катионит КУ-2; для первого этажа двухэтажного анионитного фильтра можно использовать сильноосновные аниониты второй группы (Амберлайт IRA-410, ЭДЭ-10П, АВ-27), а для второго этажа — сильноосновные аниониты первой группы (Амберлайт IRA 400, Зеролит ГГ, анионит АВ-17).

3. Производить одновременно поперепооследовательную регенерацию сильно- и слабоосновных анионитных фильтров.

4. В схемах 9 и 10 желательпо последние ступени ионирования H_2 и A_2 , а также H_3 и A_3 заменить фильтрами смешанного действия (ФСД).

Эти мероприятия без снижения качества обессоленной воды дают возможность весьма существенно уменьшить потребность обессоливающих установок в серной кислоте и едком натре.

При обессоливании природных вод удаляется значительная часть органических веществ, причем Н-катионитными фильтрами задерживаются органические вещества, обладающие основными свойствами, а анионитными фильтрами — обладающие кислотными свойствами. Если окисляемость воды, поступающей на химическое обессоливание после коагуляции и осветления, превышает 15—20 мг/кг $KMnO_4$, то в схеме обессоливания предусматривается установка фильтров с активированным углем.

Если исходная вода перед ее обессоливанием нуждается в предварительном осветлении и удалении соединений железа, то это достигается применением коагуляционных установок с осветлителями, где коагуляция иногда совмещается с предварительным известкованием воды.

При химическом обессоливании прозрачных вод (водопроводной, артезианской) коагуляция и осветление воды перед химическим обессоливанием не требуются, за исключением случаев, когда исходная вода загрязнена железом в количестве больше 0,3 мг/кг Fe^{2+} .

9.6. СХЕМЫ УСТАНОВОК ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО ОБЕССОЛИВАНИЯ, ОБЕСКРЕМНИВАНИЯ И ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ КОНДЕНСАТОВ

Турбинные и производственные конденсаты, используемые для питания прямоточных парогенераторов, как правило, не удовлетворяют нормам качества питательной воды прямоточных парогенераторов, поэтому эти конденсаты подвергаются химическому обессоливанию по одной из следующих схем (рис. 9-15).

Схема 1 основана на последовательном фильтровании конденсатов через Н-катионитные, а затем сильноосновные анионитные фильтры. Здесь Н-катионитные фильтры регенерируются 2—3%-ным раствором серной кислоты, а анионитные 3—4%-ным водным раствором аммиака. По этой схеме достигается глубокое обессоливание, причем незначительное остаточное солесодержание характеризуется только кремниевой кислотой и летучими соединениями (NH_4OH и NH_4HCO_3). Недостатком схемы является невозможность удаления кремниевой кислоты. Если необходимо не только химическое обессоливание,

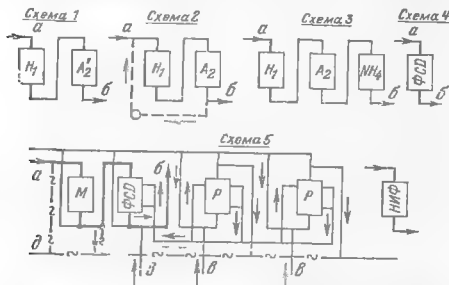


Рис. 9-15. Принципиальные схемы установок для химического обессоливания, обескремнивания и обезжелезивания конденсатов.

H_1 — водород-катионитный фильтр, A_2 — сильноосновный анионитный фильтр, регенерируемый водным раствором аммиака; A_2 — сильноосновный анионит, регенерируемый водным раствором едкого натра. NH_4 — катионитный фильтр ФСД — фильтр с едким натром; ИИФ — ионообменный фильтр; ИЦФ — ионообменный фильтр; М — механический фильтр, загруженный сульфидом углерода; Р — регенератор; ГИФ — ионообменный фильтр смешанного действия; а — подача загрязненного конденсата; б — обессоленный конденсат; в — слитый вод. р-р; г — отмывочный конденсат; д — дренаж.

но и обескремнивание конденсатов, следует в рассмотренной схеме регенерировать сильноосновный анионит раствором едкого натра. Однако в этом случае отмывка его требует длительного времени и большого расхода конденсата. Поэтому рекомендуется применять схему 2 с рециркуляцией части отмывочной и обессоленной воды через II-катионитный фильтр для повторного обессоливания.

Схема 3, по которой конденсат последовательно пропускается через II-катионитный, затем сильноосновный ОН-ионитный и, наконец, NH_4 -катионитный фильтры, позволяет получить глубокообессоленный и обескремненный конденсат при малом расходе последнего на собственные нужды. В этом случае глубокая отмывка анионитного фильтра не требуется, так как содержащийся в фильтрате едкий натр превращается в безвредный NH_4OH .

Схема 4 основана на пропуске конденсатов и дистиллятов через фильтр смешанного действия (ФСД).

Наличие конденсатоочистительной установки дает возможность удалять из конденсатов не только соли, попадающие в цикл энергоблока с. к. д. из-за присосов охлаждающей воды в конденсаторе, но также и продукты коррозии конструкционных материалов тракта питательной воды.

На действующих в СССР энергоблоках с. к. д. в схеме конденсатоочистки обычно предусматривается установка предвключенных механических фильтров (намывных целлюлозных либо сульфугольных) для того, чтобы создать более благоприятные условия для работы ФСД. На вновь сооружаемых энергоблоках с. к. д. ФСД, как правило, оснащены устройствами для внешней регенерации ионитов (схема 5).

На ряде энергоблоков с. к. д. в США и Западной Европе успешно эксплуатируются конденсатоочистки, состоящие из намывных ионитных фильтров с фильтрующей средой из порошкообразных ионитов (НИФ).

По своей конструкции НИФ аналогичны описанным ранее намывным целлюлозным фильтрам (рис. 7-16), однако устройство элементов, поддерживающих фильтрующую среду в них, несколько изменено. Порошкообразные иониты поставляются фирмами- изгото-

витаия и ионообменных смол в отрегенированном состоянии при определенных соотношениях компонентов.

Благодаря весьма малым размерам частиц слой порошкообразных ионитов, состоящий из смеси сильноокислотного катионита и сильноосновного анионита в Н- и ОН-формах, в намывном ионитном фильтре совмещает такие процессы очистки конденсата, как обессоливание, обескремнивание, обезжелезивание и удаление грубодисперсных и коллоиднодисперсных примесей. Большая скорость обмена ионов позволяет при этом применять фильтрующие слои весьма малой высоты (5—15 м) и достигать использования 50—90% полной обменной емкости ионитов вместо 20—50%, используемых в обычных насыпных фильтрах при обычном фракционном составе ионитов в фильтрующих слоях большой высоты (выше 900 м) при условии получения фильтрата равноценного качества.

В НИФ фильтрующая смесь используется однократно и подвергается термическому воздействию горячих конденсатов ограниченное время. Поэтому температурный предел для обычных марок ионитов в намывных фильтрах может быть повышен с 40 до 150°C, что позволяет для удаления из конденсата продуктов коррозии размещать НИФ непосредственно за п. н. д.

Достоинствами очистки конденсатов путем фильтрования их через намывные ионитные фильтры являются простота оборудования; низкие капитальные затраты; работа с малыми потерями пара; эффективное удаление растворенных, коллоидных и грубодисперсных примесей; высокий температурный предел (150°C); эффективность использования оборудования (операции по замене фильтрующего слоя не превышают 15—30 мин); отсутствие регенерации, систем подачи кислоты и щелочи и нейтрализации сбросных вод. Лабораторные и промышленные испытания показали перспективность применения для намыва на НИФ отечественных ионитов марок КУ-2 и АВ-17 в порошкообразном состоянии.

На ТЭС с к. д. производительность конденсатоочистительной установки должна обеспечивать получение обессоленного конденсата в количестве 125—150 т паропроизводительности энергоблока при скорости фильтрования 100—125 м/ч. Производительность конденсатоочистительной установки каждого блока для ТЭС с прямоточ-

ними парогенераторами докритического давления рекомендуется рассчитывать на пропуск 50% конденсата, выдаваемого из конденсатора турбины, и, кроме того, предусматривать применение общестанционной установки такой же производительности.

9-7. СХЕМЫ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

На рис. 9-16 приведены принципиальные схемы установок для приготовления подпиточной воды тепловых сетей. Предполагается, что на установку поступит поверхностная вода, прошедшая предварительную очистку (коагуляцию и осветление), водопроводная или артезианская вода.

Схема I. Подкисление—буферное катионирование—декарбонизация—магнитная обработка—стабилизация на фильтрах

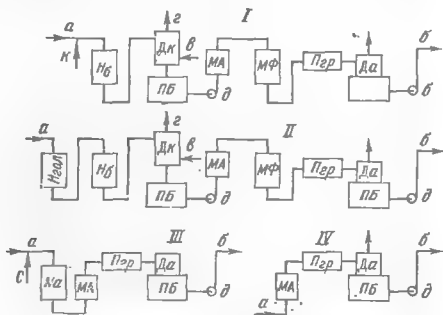


Рис. 9-16. Принципиальные схемы обработки осветленной воды для приготовления подпиточной воды теплосети.

К — подвод серной кислоты для снижения щелочности воды; Нб — Н-катионитный фильтр с 2-х ступеней, Н₁₀₂ — Н-катионитный фильтр с гофрированной регенерацией; На — натрий катионитный фильтр; Дк — деаэризатор; Да — деаэризатор; МА — магнитный выпадатель; ПБ — промежуточный бак; Пр — подогреватель воды; МФ — фильтр с магнитной крошкой; а — подача осветленной воды; б — выход обработанной воды; г — подача воздуха в деаэризатор; е — выход углекислоты в атмосферу; д — промежуточный насос.

с мраморной крошкой подогрев — деаэрация

Схема 2. Ионнообменное с «голодной» регенерацией — буферное катионирование — магнитная обработка — стабилизация на фильтрах с мраморной крошкой — подогрев — деаэрация.

Схема 3. Одноступенчатое натрий-катионирование совместно с сульфитированием — магнитная обработка — подогрев — деаэрация.

Схема 4. Магнитная обработка воды — подогрев — деаэрация.

Все четыре схемы предусматривают магнитную обработку подпиточной воды. Сущность магнитной обработки воды и применяемая аппаратура описаны в гл. 12.

9-8. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИОННЫХ УСТАНОВОК

Эксплуатация ионного фильтра сводится к последовательному проведению следующих операций: взрыхление, регенерация, отмывка и умягчение. Задачей эксплуатации ионных фильтров является правильное проведение указанных операций, обеспечивающее максимальную рабочую обменную емкость фильтров при заданном качестве химически обработанной воды.

Операция взрыхляющей промывки имеет целью устранить уплотнение слежавшейся массы ионита и тем самым обеспечить более свободный доступ регенерационного раствора к зернам ионита. Кроме того, при этом осуществляется удаление из фильтра накапливающихся в слое ионита мелких частиц, вносимых недостаточно осветленной умягчаемой водой и раствором реагентов, а также образующихся вследствие постепенного разрушения ионита в процессе эксплуатации фильтра. Взрыхление ионита производится отмывочной водой, собранной при предыдущей регенерации фильтров. Вода для взрыхления подается самотеком из бака, расположенного выше фильтра, или с помощью специального насоса из бака, расположенного внизу. Интенсивность взрыхления, обеспечивающая приведение во взвешенное состояние всей массы ионитного материала, зависит от вида ионита и диаметра его зерен. Поэтому для каждого ионита в процессе эксплуатации устанавливается оп-

тимальная интенсивность взрыхления. Для органических ионитов интенсивность взрыхления колеблется в пределах 2,8—3 л/(сек·м²). По окончании операции взрыхления в ионитный фильтр подается регенерационный раствор, который проходит сверху вниз сквозь слой ионита. Продукты регенерации направляются в дренаж.

Режим регенерации истощенного катионита может тогда считаться оптимальным, когда при минимальных расходах регенерирующего вещества обеспечивается глубокое умягчение воды при достаточно высокой рабочей емкости катионита. Обычно при регенерации Na-катионитного фильтра через него пропускается 5—10%-ный раствор поваренной соли со скоростью 3—4 м/ч. При этом оптимальный расход соли принимается в 3,5 раза больше теоретически потребного количества ее.

Восстановление обменной способности истощенного H-катионита производится регенерацией его серной кислотой с концентрацией раствора 1—1,5%. При концентрации H₂SO₄, превышающей 2%, создается опасность загипсования зерен катионита. Регенерационный раствор кислоты пропускается через фильтр со скоростью 9—10 м/ч. Следует отметить, что при малых скоростях пропускания 1—1,5%-ного раствора серной кислоты также создается опасность отложения гипса на зернах катионита.

Удельный расход серной кислоты на регенерацию H-катионитных фильтров зависит от суммарного содержания хлоридного и сульфатного ионов в умягчаемой воде и составляет 75—225 г/г-экв для фильтров первой ступени и 70 г/г-экв для фильтров второй ступени.

По окончании регенерации катионита производится отмывка катионита от регенерирующего вещества и продуктов регенерации, оставшихся в жидкости, заполняющей поры между зернами катионита. Отмывка обычно производится прозрачной коагулированной или артезианской водой.

В целях снижения расхода воды на собственные нужды катионитных фильтров, а также уменьшения расхода соли или кислоты на регенерацию отмывочная вода вначале спускается в дренаж, а затем часть ее, содержащая известное количество еще не использованной воды или кислоты, направляется в специальный бак, из которого отмывочная вода в дальнейшем повторно используется для взрыхления слоя при очередной регенерации.

фильтра. Огмывка катионита заканчивается, когда общая жесткость отмывочной воды не превышает 50 мг-экв/кг , а концентрация хлоридов превышает содержание их в умягчаемой воде не более чем на 30—50 мг/кг .

При повторном использовании отмывочной воды удельный расход воды на регенерацию Na-катионитных фильтров составляет 4,3—5 м^3 , а на регенерацию H-катионитных фильтров 6,2—7 м^3 на каждый кубометр загруженного материала против соответственно 5,1—6,5 и 7—7,8 $\text{м}^3/\text{м}^3$ без использования отмывочной воды для взрыхления.

После окончания отмывки фильтр включается в работу по умягчению воды. Для полноты использования рабочей емкости катионита целесообразно придерживаться линейной скорости фильтрования умягчаемой воды в пределах 15—20 м/ч . Временное увеличение скорости фильтрования допускается до 25—40 м/ч в основных и до 50 м/ч в барьерных фильтрах.

Катионитные фильтры отключаются на регенерацию, когда в умягченной воде появляется жесткость, превышающая 35 мг-экв/кг . Обычно стремятся обеспечить продолжительность рабочего цикла катионитного фильтра не меньше 6—8 ч.

Зная рабочую емкость поглощения катионита, а также среднюю производительность фильтра и жесткость поступающей на фильтр воды, можно определить продолжительность работы фильтра в часах между регенерациями (межрегенерационный период), пользуясь формулой

$$T = \frac{0,95 \cdot \pi D^2 h e_p}{4QJ_0}, \quad (9-13)$$

где T — продолжительность межрегенерационного периода, ч; D — диаметр фильтра, м; h — высота слоя катионита, м; e_p — обменная емкость катионита, г-экв/м^3 ; 0,95 — коэффициент запаса; J_0 — общая жесткость умягчаемой воды, г-экв/м^3 ; Q — средняя производительность катионитного фильтра, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Эксплуатационный период при условии незначительных колебаний производительности аппарата и общей жесткости поступающей воды может с помощью формулы (9-13) критично точно определить момент перевода катионитного фильтра на регенерацию.

В процессе эксплуатации катионитных установок иногда наблюдаются уменьшение рабочей обменной емкости катионита и ухудшение показателей работы фильтров. Снижение рабочей обменной емкости может происходить вследствие отложения карбоната кальция на зернах катионита на установках с предварительным

известкованием с нестабильной после известкования водой. Для восстановления рабочей обменной емкости фильтра необходимо удалить отложения, образовавшиеся на зернах катионита путем промывки его раствором соляной кислоты. В некоторых случаях обменная емкость катионита снижается вследствие неравномерного фильтрования воды по площади фильтра из-за образования в слое катионита местных уплотнений или неравномерного скопления загрязнений, ухудшающих гидродинамику фильтрующего слоя.

В условиях эксплуатации как ионитных, так и осветлительных фильтров иногда возникает необходимость выгрузки фильтрующего материала для осмотра или ремонта дренажного устройства, после чего необходимо снова загружать фильтр. Эти процессы механизированы с применением гидropерегрузки. Для этой цели на водоподготовительных установках предусматривается установка пустого резервного фильтра, который предназначается для использования при гидropерегрузках ионитных и осветлительных фильтров в качестве свободной емкости.

Эксплуатация II-катионитных фильтров обессоливающих установок производится так же, как и в H—Na-катионитных водоумягчительных установках, но с отключением на регенерацию не по проскоку жесткости, как в умягчительных установках, а по проскоку ионов натрия; так как появление их в фильтрате совпадает с понижением кислотности II-катионированной воды, то II-катионитные фильтры первой ступени отключаются на регенерацию в момент понижения кислотности фильтрата, H-катионитные фильтры второй ступени отключаются на регенерацию по объему фильтрата, т. е. после пропуска им заданного количества воды.

Анионитные фильтры первой ступени, загруженные слабоосновными анионитами, могут регенерироваться любой натровой щелочью NaOH, Na₂CO₃, NaHCO₃. Если для регенерации применяются Na₂CO₃ или NaHCO₃, то фильтрат будет содержать углекислоту:



Поэтому анионитные фильтры первой ступени в схемах полного химического обессоливания в этом случае должны включаться перед декарбонизатором, чтобы обеспечить удаление CO₂ из обработанной воды. При ус-

ловии регенерации этих фильтров едким натром они могут включаться и после декарбонизатора. Обескремнивающие аниониты должны регенерироваться только едким натром. При замене последнего другими щелочными реагентами снижается кремнеемкость анионита, так как в растворе появляется более сильная кислота, чем кремнивая:



в результате чего начинает действовать противоионный эффект. Раствор аммиака также непригоден для регенерации обескремнивающих анионитов вследствие недостаточности его щелочных свойств. Но если анионит предназначен только для удаления анионов сильных кислот (в анионитных фильтрах третьей степени), регенерация его раствором аммиака оказывается эффективной.

Расход реагентов на регенерацию анионитных фильтров существенно влияет на экономику химического обессоливания воды. Для уменьшения расхода регенерирующих реагентов применяется последовательная регенерация двух фильтров: одного — загруженного сильноосновным анионитом (например, АВ-17), другого — слабоосновным (АН-18), с использованием в этом случае только едкого натра. Все количество реагента, необходимое для регенерации двух фильтров, в виде 3—4%-ного раствора при температуре 20—40°C пропускается вначале через сильноосновный, а затем слабоосновный аниониты со скоростью 3—4 м/ч. Отмывка их производится в таком же порядке. При невозможности последовательной регенерации анионитные фильтры первой и второй ступеней регенерируются раздельно, но с повторным использованием щелочного регенерационного раствора и отмывочной воды после регенерации сильноосновного анионитного фильтра, собираемых в специально установленных баках для регенерации слабоосновного анионитного фильтра.

Удельный расход едкого натра на последовательную регенерацию двух фильтров при противоточном анионировании в обоих фильтрах составляет 60 г/г-экв всех анионов, поглощенных анионитами (SO_4^{2-} , Cl^- , $HSiO_3^-$, HCO_3^- и др.). Длительность регенерации и отмывания двух последовательно регенерируемых фильтров составляет 5 ч. Удельный расход воды на собственные нужды

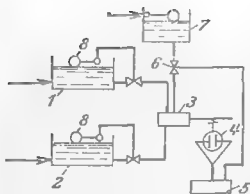


Рис. 9-17. Схема нейтрализации кислых вод.

Рис. 9-17 изображена одна из схем сбора и нейтрализации отмывочных вод. В баке 1 собираются кислые воды, а в баке 2 — щелочные. Пройдя через смеситель 3, они поступают в канализацию. Степень нейтрализации контролируется pH-метром 4. При недостатке щелочных вод для нейтрализации регулятор 5 путем открытия вентиля 6 подает необходимое количество концентрированной щелочи из бака 7 с постоянным уровнем в смеситель 3. Регулятор 8 поддерживает постоянный уровень в баках 1 и 2.

9-9. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ИОНИТНЫХ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Для обеспечения нормальной эксплуатации преточистки необходимо осуществить автоматизацию и дистанционное управление шламового режима осветлителя, автоматическое регулирование температуры обрабатываемой воды, а также автоматизацию дозирования растворов реагента в осветлитель. Автоматизация регулирования производительности установки дает возможность без вмешательства обслуживающего персонала при колебаниях нагрузки установки обеспечить поддержание в заданных пределах уровня воды в промежуточных баках путем соответствующего воздействия на степень открытия регулирующего клапана.

В целях обеспечения медленного и плавного изменения нагрузки применяются схемы стабилизации нагрузки, что создает благоприятные условия для формирования взвешенного осадка в осветлителе, улучшения каче-

аионитных фильтров составляет около 10 м³ на 1 м³ анионита.

В процессе эксплуатации Н-Na-катионитных и обессоливающих установок встречается необходимость в нейтрализации кислых промывочных вод Н-катионитных фильтров для защиты источников водоснабжения от загрязнения и дренажных каналов от разрушения. На

ства выдаваемой воды и повышения допустимых нагрузок осветлителей. Облегчаются также условия работы автоматических дозирующих устройств.

Стабилизации нагрузки можно достигнуть за счет наличия в промежуточных баках «нерегулируемого» объема, в пределах которого изменение уровня не вызывает срабатывания регулятора и нагрузка осветлителя остается постоянной. Этот «нерегулируемый» объем обычно составляет 25—30% общего объема промежуточного бака.

Для поддержания заданной температуры подогревой воды применяется электронный регулятор, использующий импульс по температуре воды за подогревателем, измеряемой термочувствительным элементом в виде термометра сопротивления. Регулятор обеспечивает удовлетворительное поддержание температуры с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$.

Изменение производительности насосов-дозаторов осуществляется следующими способами: а) при постоянном числе оборотов электродвигателя — путем изменения длины хода плунжера с помощью механических устройств насоса-дозатора или возврата части раствора реагента, подаваемого насосом; б) изменением числа оборотов электродвигателя, приводящего в движение насос-дозатор путем импульсного управления электродвигателем переменного тока.

Автоматизация шламового режима осветлителя (рис. 9-18) предусматривает поддержание уровня зоны взвешенного шлама в осветлителе и шламоотделителе. Это достигается регулированием «отсечки» воды в шламоотделителе, а также непрерывной и периодической продувкой осветлителя. Действие применяемых для этого автоматов основано на использовании сигнализаторов уровня шлама (СУШ), представляющих собой фотореле с проточными кюветами, к которым подается жидкость из пробоотборника осветлителя или шламоотделителя. Действие этого прибора основано на изменении освещенности фотосопротивления в результате поглощения лучей шламом, взвешенным в воде. Как только слой взвешенного осадка достигнет устья пробоотборника, а кювету СУШ начнет поступать жидкость со шламом, в результате чего СУШ дает команду на включение световой и звуковой сигнализации и открытие линии периодической продувки шламоотделителя.

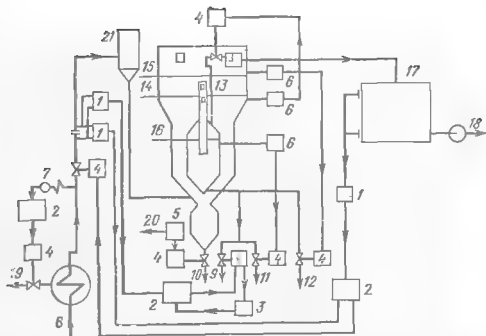


Рис. 9-18. Схема автоматического регулирования подачи и температуры исходной воды, автоматов 3-шты, продувки и управления шламовым режимом осветлителя.

1 — датчик расхода (дифманометр), 2 — эластичный регулятор, 3 — датчик перемещения, 4 — сервомотор, 5 — командный электрический прибор, 6 — датчик уровня шлама, 7 — термометр сопротивления, 8 — исходная вода, 9 — непрерывная продувка осветлителя, 10 — периодическая продувка осветлителя, 11 — сброс в дренаж при превышении максимального уровня шлама в шламоотделителе, 12 — то же в осветлителе, 13 — отсечка воды на шламоотделитель, 14 и 15 — заданный и максимально допустимый уровень шлама в осветлителе, 16 — максимально допустимый уровень шлама в шламоотделителе, 17 — промежуточный бак, 18 — на фильтр, 19 — греющий п. р., 20 — к другим осветлителям, 21 — воздухоотделитель.

При снижении уровня взвешенного осадка в осветлителе или шламоотделителе по команде СУШ периодическая продувка прекращается. В качестве запорного органа на линии периодической продувки установлен пробковый кран с приводом от колонки дистанционного управления (КДУ).

Отсечка части воды со шламом из осветлителя в шламоотделитель регулируется поворотной заслонкой с приводом от КДУ на линии возврата воды из шламоотделителя в распределительное устройство. Управление отсечкой производится дистанционно со щита.

Автоматизация работы осветлительных фильтров предусматривает проведение в надлежащий последовательности и при оптимальных условиях операции по восстановлению их работоспособности по заранее заданной программе. Прекращение полезной работы осветлитель-

ных фильтров обычно возлагается на эксплуатационный персонал, который ведет оперативный химический контроль качества обработанной воды и в нужный момент нажатием кнопки включает систему автоматических устройств, обеспечивающих последовательное выполнение всех операций по промывке фильтров.

На отечественных ТЭС применяются две принципиально различные схемы автоматического управления фильтрации: а) индивидуальная; б) групповая (рис. 9-19).

Индивидуальная схема автоматического управления осветлительными фильтрами (рис. 9-20) предусматривает оснащение каждого фильтра полным комплектом автоматических устройств и запорных органов, необходимых для промывки осветлительных фильтров. Индивидуальная схема позволяет учитывать особенности отдельных фильтров и устанавливать для каждого фильтра оптимальный режим промывки, что особенно важно в том случае, когда фильтры имеют разные конструктивные размеры или загружены различными фильтрующими материалами.

Групповая схема автоматического управления осветлительными фильтрами осуществляет все операции восстановления работоспособности фильтров одним центральным автоматическим устройством, обслуживающим группу однородных фильтров, которое может подключаться поочередно к любому фильтру данной группы. Групповая схема позволяет многократно использовать центральное автоматическое устройство для данной группы осветлительных фильтров. Применение этой схемы наиболее целесообразно на сооружениях крупных водоподготовительных установках, имеющих однотипное оборудование.

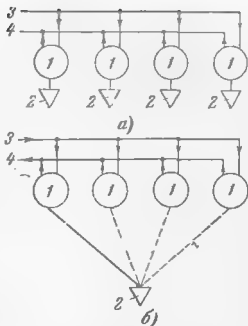


Рис. 9-19. Скелетные схемы автоматизации фильтров.

а — индивидуальная, б — групповая. 1 — фильтры, 2 — автоматическое устройство, 3 — исходная вода; 4 — обработанная вода.

Обе схемы показали себя в процессе длительной эксплуатации вполне работоспособными. Пока еще не выявлены достаточно отчетливо реальные эксплуатационные преимущества одной схемы по сравнению с другой. Техничко-экономические расчеты показали, что капитальные затраты на автоматизацию по групповой схеме заметно меньше, чем по индивидуальной. Но групповая схема менее гибка и надежна, чем индивидуальная: при неисправности одного элемента центрального автоматического устройства операции по восстановлению работоспособности всей группы фильтров приходится проводить вручную.

На рис. 9-20 изображена индивидуальная схема автоматизации промывки осветительного фильтра. Все фильтры разбиваются на группы по 3—5 фильтров. В каждой группе имеется общий командный электрический прибор (КЭП общий), который поочередно по истечении заданного времени включает индивидуальный электрогидравлический командный прибор (КЭПН), управляющий режимом промывки данного фильтра. Электрогидравлический командный при-

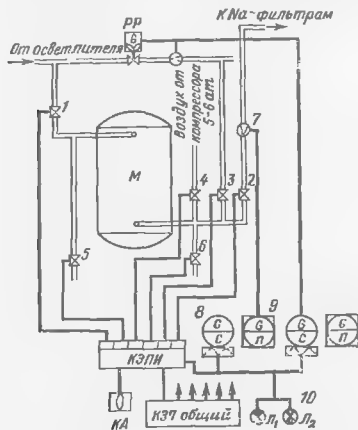


Рис. 9-20. Индивидуальная схема автоматизации промывки осветительного фильтра.

бор (рис. 9-23) непосредственно, без промежуточных гидравлических преобразователей, управляет мембранными исполнительными клапанами, установленными вместо задвижек. Разработанные ВТИ мембранные исполнительные клапаны (МИК) могут работать как нормально открытые, так и нормально закрытые. Клапаны 1 и 2 — нормально открытые, клапаны 3, 4, 5 и 6 — нормально закрытые.

После получения сигнала от КЭП (общего) включается КЭПИ выводимого на промывку фильтра. Сначала закрытием клапана 2 фильтр выключается из работы. Закрытие клапана 2 проверяется с помощью дроссельной измерительной шайбы 7 по сигнализатору расхода 8, который устанавливается на нуль. При этом дается команда на следующую операцию — закрытие клапана 1. Для взрыхления фильтрующего материала воздухом открываются клапаны 4 и 5. Одновременно с этим включается компрессор. Взрыхление фильтрующего материала осветленной водой производится при открытии клапанов 3 и 5. Постоянная интенсивность взрыхления обеспечивается гидравлическим регулятором расхода (ГР). По истечении заданного времени сначала закрывается клапан 5, а затем

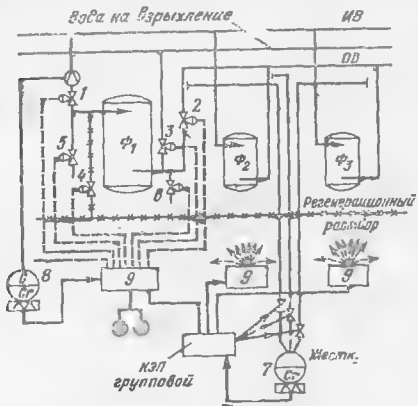


Рис. 9-21. Индивидуальная схема автоматизации регенерации натрий-катионитных фильтров.

клапан 3. Правильность проведения операций проверяется по сигнализатору расхода, установленному на линии взрыхления. Сброс первого фильтрата производится открытием клапанов 6 и 1. По истечении заданного времени закрывается клапан 6 и открытием клапана 2 осуществляется автоматическое включение фильтра в работу.

Выключение фильтра в резерв осуществляется закрытием вручную клапана 1. На фильтре каждого фильтра устанавливается ключ автоматизации (КА), указательная лампочка 9 и выключатель лампочки 10. Селекторный фильтр автоматически включается. Световая сигнализация аварийных случаях утановлена в одном комплекте с автоматизацией фильтра.

Индивидуальная схема автоматизации регенерации на катионитных фильтрах первой ступени и бражера на рис. 9-21. Фильтры работают по очереди группой из трех из четырех фильтров. В зависимости от состояния патрубков фильтров в группе КЭП для каждого фильтра устанавливается. При достижении предела жесткости фильтра индикатор жесткости сообщает об этом сигналом. В конце цикла и через группу КЭП клапан срабатывает, выдающий командный сигнал на контроллер 9, осуществляющий программу регенерации и тошину фильтра.

При этом та же ладжиса индикатора жесткости и используется для проверки состояния экстацции при контроле, при этом вводится тошину КЭП. В конце клапана 2 и клапана 1 фильтр включается. Вывод, при этом регенерации роста при этом клапан из-за перемещения путем подачи тошину, а затем работы соответствующих клапанов. По истечении времени фильтр автоматически работает. Выключение фильтра в резерв осуществляется ключом. Векторности работы при этом осуществляется сигнализация

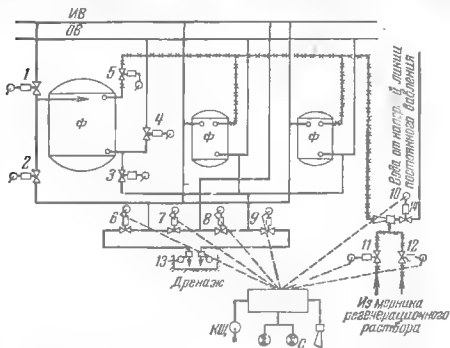


Рис. 9-22. Групповая схема автоматизации регенерации ионитных фильтров.

расходов, установленными на линиях обрабатываемой, взрыхляющей и отмывочной воды. На-катионитные фильтры второй ступени отключаются на регенерацию по времени с помощью КЭП, который включает поочередно командные электрогидравлические приборы, управляющие процессом в становления отключенного фильтра. Процесс регенерации производится аналогично, как и для Na-катионитных фильтров первой ступени.

Все Na-катионитные фильтры имеют общую свет звуковую аварийную сигнализацию.

Автоматизация Na-катионитных фильтров осуществляется аналогично тому, как и Na-катионитных фильтров.

На рис 9-22 изображена групповая схема автоматизации регенерации ионитных фильтров. На каждом фильтре, включенном в группу в количестве 3—5 фильтров, установлено пять задвижек с гидроприводами, из которых 1 и 4 нормально открыты, а 2, 3 и 5 нормально закрыты. Задвижки 6—12 входят в центральное автоматическое устройство и управляются автоматом регенерации (АР).

На основе оперативного химического контроля эксплуатационный персонал определяет момент истощения ионита в том или ином фильтре данной группы. Путем закрытия задвижек 4 и 1 фильтр отключается от рабочих магистралей, а путем открытия задвижек 2, 3 и 5 подключается к центральному автоматическому устройству. В таком положении все задвижки 1, 2, 3, 4 и 5 остаются на весь период регенерации. Ключом со щита КЩ автомат регенерации АР включается в работу. Взрыхление фильтра достигается последовательным открытием задвижек 8 и 6. Необходимая интенсивность взрыхления регулируется поправочно-дроссельным ограничителем интенсивности взрыхления 13. По истечении заданного промежутка времени АР осуществляет закрытие задвижек 6 и 8 и открытие задвижек 10, 9, 11 и 12. При необходимости ступенчатого изменения концентрации регенерационного раствора открывается либо одна, либо обе задвижки 11 и 12. Вода от напорной линии постоянного давления, поступающая через задвижку 10 к гидроэлеватору (эжектору) 14, засасывает концентрированный раствор реагента из мерного бака через задвижки бака 11 и 12. Разбавленный в гидроэлеваторе до нужной концентрации раствор реагента через задвижку 5 поступает в фильтр. Скорость пропуска регенерационного раствора регулируется поправочно-дроссельным органом 13. После пропуска регенерационного раствора АР закрывает задвижки 10, 11 и 12 и открывает задвижку 7 для отмывки ионита.

По окончании отмывки АР закрывает задвижки 7 и 9 и обеспечивает заполнение мерного бака концентрированным раствором реагента для очередной регенерации. После этого подается светозвуковой сигнал об окончании регенерации. Дежурный эксплуатационный персонал закрывает задвижки 2, 3 и 5 и открывает 1 и 4, т. е. включает фильтр в работу. Весь процесс регенерации в случае необходимости может быть проведен при помощи ручных распределительных кранов, у тансвальных на гидроприводах всех задвижек.

В качестве исполнительных механизмов, применяемых при автоматизации водоподготовительных установок, получили распространение следующие виды специальной арматуры: 1) многоходовые краны с электроприводом; 2) задвижки с электроприводом; 3) задвижки

с гидроприводом; 4) мембранные клапаны с гидро- и пневмоприводом.

Операции по автоматизации восстановления работоспособности ионитных фильтров проводятся в определенной последовательности по заранее заданной программе. В качестве приборов управления исполнительными механизмами, обеспечивающими выполнение заданной программы, применяются следующие приборы.

Командный электрический прибор (КЭП) (рис 9 23) состоит из синхронного двигателя Δ приводящего во вращение распределительный вал PB через редуктор P . В кольцевых выточках вала в нужном месте по окружности закрепляются управляющие поводки, которые при вращении PB собирают или заводят защелки быстродействующих выключателей, воздейству-

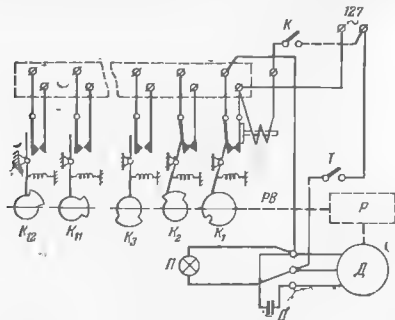


Рис. 9 23 Схема работы командного электрического прибора (КЭП)

ющих на выходные электрические контакты. Это позволяет получить определенную последовательность включения и выключения выходных цепей, т.е. нужную программу работы КЭП. Командный электрический прибор может управлять мембранными или поршневыми гидроприводами через электрогидравлическое реле или непосредственно гидроприводом исполнительных механизмов, воздействуя на гидр переключатели, соединяющие мембранные камеры исполнительных механизмов или с напорной линией силовой воды, или с дренажем, обеспечивая тем самым закрытие или открытие клапана. КЭП в этом случае является командным электрогидравлическим прибором.

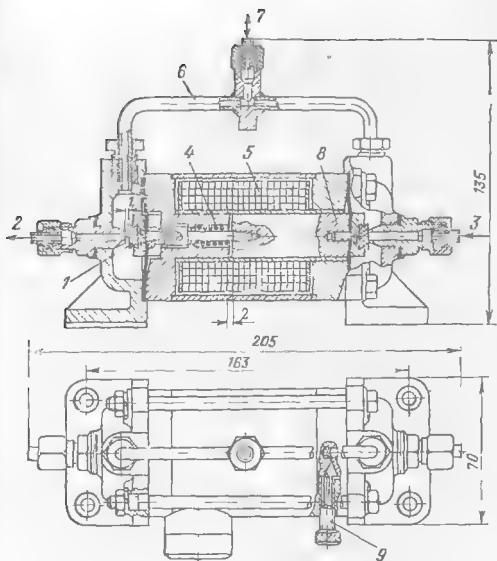


Рис 9 24 Электрогидравлическое реле конструкции ВТИ.

Электрогидравлическое реле (ЭГР) (рис. 9 24) получает импульс от КЭП и управляет гидравлической частью исполнительного механизма. ЭГР представляет собой двусторонний электромагнитный клапан, правая часть которого штуцером 2 соединена с линией силовой воды, а левая часть штуцером 3 — с дренажем. При подаче напряжения на катушку 5 втягивается плунжер 8, правый клапан отходит, а левый с помощью пробки 1 закрывается и силовая вода через байпас 6 и штуцер 7 подается к мембранному исполнительному механизму (МИМ). После выключения катушки 5 плунжер 8 под действием пружины 4 отходит вправо, закрывая клапан на подводе силовой воды и соединяя мембранную полость МИМ с дренажем. При помощи винта 9 можно перемещать плунжер 8, т. е. управлять исполнительным механизмом вручную.

Электрогидравлический распределительный кран (ЭРК) (рис 9 25) служит для дистанционного управления

задвнжкой с гидроприводом К гидроприводу 2 силовая вода поступает последовательно через электрогидравлический распределительный кран 5 и ручной распределительный кран 4 Это позволяет легко переходить в случае необходимости с автоматического управления на ручное и обратно Электрогидравлический кран и гидропривод находятся в нормальном положении «закрыто», когда обмотка электромагнита 6 обесточена Если при этом и ручной распределительный кран находится в положении «закрыто», верхняя

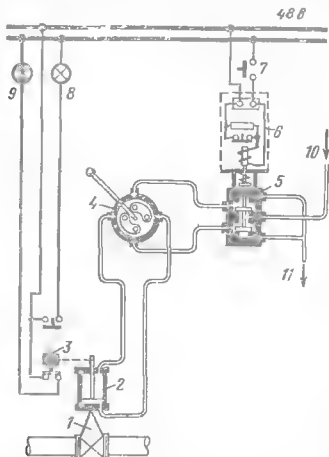


Рис 9 25 Схема соединения электрогидравлического и ручного распределительных кранов с гидроприводом задвижки

полость цилиндра с гидроприводом сообщается с напорной линией силовой воды 10, нижняя — с дренажем При подаче на обмотку электромагнита напряжения шток с золотником переходит в верхнее положение, в результате чего происходит перераспределение потоков силовой воды, задвижка при этом открывается Гидропривод имеет конечный выключатель, который используется для контроля положения задвижки

Программный автомат регенерации фильтров (АР) (рис 9 26) применяется для дистанционного управления задвижками с гидроприводами.

Кулачковый вал 5, соединенный цепной передачей 6 с выходным валом редуктора сервомотора, своим кулачком воздействует на золотниковые клапаны 3, управляющие гидроприводами задвижек. На крышке колонки установлен задатчик времени 7 (моторчик Уоррена с редуктором). На выходном валу редуктора установлен ползунок, скользящий по плате задатчика. На плате имеется 50 отверстий, в которых устанавливается 10 штекеров, связанных с командным устройством исполнительных механизмов.

После включения АР кнопкой управления или импульсным прибором, характеризующим истощение фильтра, ползунок задатчика времени перемещается по плате до первого штекера, при достижении которого включается импульсный механизм, перемещающий вал 1 на $\frac{1}{10}$ оборота, после чего контактное устройство исполнительного механизма отключает сервомотор. Следующее включение исполнительного механизма и перемещение кулачкового вала на очередную $\frac{1}{10}$ оборота произойдут при достижении ползунком задатчика времени очередного штекера. Время каждой отдельной операции по восстановлению фильтра зависит от расстановки штекеров на плате 7 и может быть легко изменено.

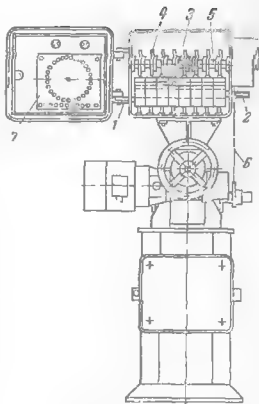


Рис. 9.26 Программный автомат регенерации фильтров

1 — подвод силовой воды, 2 — отвод силовой воды в дренаж, 3 — управляющие золотники, 4 — кулачки, 5 — распределительный вал, 6 — цепная передача, 7 — командный механизм

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ

10.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Термическое обессоливание или дистилляция природных вод, осуществляемое с помощью испарительных установок, применяется на ТЭС с барабанными или прямоточными парогенераторами при размере добавки питательной воды ниже 3%.

Если исходная вода имеет повышенное содержание ионов $C_{\text{SO}_4^{2-}} + C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{NO}_3^-} = 7 - 12 \text{ мг-экв/кг}$, испарительные установки по своим технико-экономическим показателям выгоднее, чем установки для химического обессоливания.

Процесс термического обессоливания заключается в том, что поступающая в испарительные установки вода за счет передачи тепла от подводимого в нагревательную систему греющего пара превращается в пар, который затем конденсируется. В процессе парообразования вещества, загрязняющие воду, остаются в испарителе и удаляются из него с непрерывной продувкой, а полученный в результате конденсации пара дистиллят содержит лишь незначительное количество нелетучих примесей, поступающих в дистиллят с капельным уносом концентратов испарителей.

Греющий пар, подводимый в нагревательную систему испарителя, называется первичным, а образующийся в нем — вторичным. Первичный пар, передав свое тепло для испарения находящейся в испарителе воде, конденсируется, и конденсат через конденсатоотводчик поступает в сборник дистиллята. Вторичный пар из испарителя поступает в поверхностный охладитель, откуда он после конденсации подается в сборник дистиллята. На рис. 10-1 показана схема включения однокорпусного испарителя.

В зависимости от количества последовательно включенных испарителей различают одноступенчатые, двухступенчатые и многоступенчатые испарительные установки. Испарительная установка, состоящая из нескольких корпусов, к которым трубопроводы первичного и вторичного пара присоединены параллельно, называется одноступенчатой многокорпусной. Так как для приготовления нужного количества дистиллята в одноступенчатых испарителях приходится затрачивать значительное количество тепла (приблизительно 1,1 т греющего пара на 1 т дистиллята), то применение одноступенчатых испарителей экономически нецелесообразно. В многоступенчатых установках вторичный пар каждой ступени, кроме последней, используется в качестве греющего пара следующей ступени. Вторичный пар последней ступени конденсируется в регенеративном подогревателе или других теплообменни-

как электростанции. С увеличением числа ступеней испарительной установки количество полезного дистиллята, получаемого с 1 т первичного пара, отобранного из турбин, возрастает и составляет:

Число ступеней	1	2	3	4	5
Количество дистиллята, т/т	0,9	1,7	2,4	3,1	3,6

Поэтому многоступенчатая установка при одном и том же суммарном температурном перепаде и одинаковом расходе греющего пара имеет более высокую производительность, чем одноступенчатая. Однако температурный перепад между греющим и вторичным паром в каждой ступени многоступенчатой установки меньше, что вызывает увеличение габаритов и удорожание установки.

Если потери конденсата на электростанции невелики, дистиллят обычно получают в двухступенчатой установке. При большом же количестве добавочной воды устанавливаются многоступенчатые установки, однако с числом ступеней, не больше шести¹.

Питание испарителей водой в многоступенчатых установках можно осуществлять как последовательно, так и параллельно. При последовательном включении испарителей по воде и пару в водяное пространство испарителя первой ступени подается насосом количество питательной воды, равное суммарной производительности установки с учетом величины продувки испарителя. В первой ступени испарителя часть воды испаряется, а остальное количество ее поступает во вторую ступень за счет разности давлений вторичного пара. Как и при применении ступенчатого испарения в парогенераторах, в многоступенчатых испарительных установках с последовательным питанием водой продувка каждой ступени получается значительной. Это способствует снижению соледержания и щелочности концентрата и улучшению качества получаемого

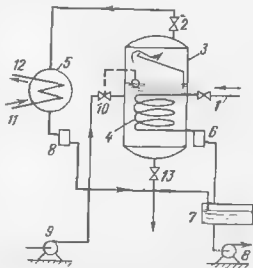


Рис. 10-1. Схема включения однокорпусного испарителя.

1 — подвод первичного пара, 2 — отвод вторичного пара, 3 — корпус испарителя; 4 — нагревательная система; 5 — поверхностный пароохладитель; 6 — конденсатоотводчик; 7 — сборник дистиллята; 8 — насос для перекачки дистиллята; 9 — питательный насос испарителя; 10 — регулятор уровня; 11 — подвод охлаждающей воды, 12 — отвод охлаждающей воды, 13 — продувка.

¹ Для получения дистиллята из морской воды устанавливаются многоступенчатые испарительные установки с числом ступеней до 36.

вторичного пара по сравнению со схемой параллельного питания. Кроме того, преимуществом последовательного питания является облегчение обслуживания многоступенчатой установки: так как продукция ведется только из одного испарителя и можно ограничиться контролем за содержанием концентрата только одной последней ступени.

На рис. 10-2 изображена принципиальная схема шестиступенчатой испарительной установки с последовательным питанием корпусов, работающая на отборном паре турбины.

На КЭС и чисто отопительных ТЭЦ испарители могут быть включены в схему регенеративного подогрева пита-

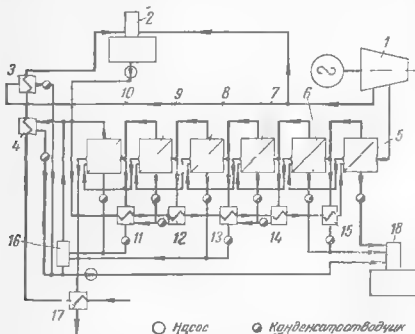


Рис. 10-2. Принципиальная схема шестиступенчатой испарительной установки.

1 — турбина; 2 — деаэрация низкого давления; 3 — подогреватель химически обработанной воды; 4 — конденсатор; 5—10 — испарители; 11—15 — подогреватели; 16 — расширительный бак; 17 — охладитель продукции; 18 — деаэрация питательной воды парогенераторов.

тельной воды парогенераторов без понижения экономичности систем регенеративного подогрева питательной воды. На промышленных ТЭЦ, где задача возмещения значительных потерь конденсата у внешних потребителей пара не всегда может быть экономично решена путем сооружения химводоочистительных или испарительных установок, применяются паропреобразователи, вторичный пар которых направляется непосредственно

330

потребителям его. В конструктивном отношении паропреобразователи мало отличаются от испарителей; они различаются в основном по назначению.

Паропреобразователи обычно включаются параллельно как по питательной воде, так и по греющему пару с образованием многокорпусной одноступенчатой испарительной установки. Последовательное включение их по пару применяется редко. Паропреобразователи должны рассчитываться на выработку вторичного пара в количестве, равном расходу его потребителями и для возмещения внутристанционных потерь конденсата. Таким образом, при наличии паропреобразователей система питания парогенераторов становится замкнутой: парогенераторы питаются смесью конденсата турбин с конденсатом первичного и части вторичного пара паропреобразователей.

Так как давление вторичного пара паропреобразователей должно соответствовать требованиям внешних потребителей, а температура греющего пара должна быть на 5—15°C выше, чем температура вторичного пара, возникает необходимость в случае установки паропреобразователей повышать давление пара в отборе турбины по сравнению с давлением его при непосредственном отпуске. Поэтому паропреобразователи снижают выработку электроэнергии на тепловом потреблении и ухудшают эффект от регенеративного подогрева.

Основными предпосылками высокой производительности испарителей и паропреобразователей являются а) отсутствие накипи и других твердых отложений на поверхности нагрева со стороны концентрата; б) отсутствие скопления неконденсирующихся газов со стороны греющего пара; в) надлежащий отвод конденсата греющего пара с поверхности нагрева. Для этого испарители и паропреобразователи должны питаться умягченной водой, а также иметь надежно действующие воздушники для удаления неконденсирующихся газов.

10-2. КОНСТРУКЦИИ ИСПАРИТЕЛЕЙ И ПАРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Нагревательная система испарителей и паропреобразователей обычно выполняется из труб. Испарители, в которых греющий пар проходит внутри труб, а испаряемая вода омывает эти трубы снаружи, называются паротрубными. Испарители же, в которых греющий

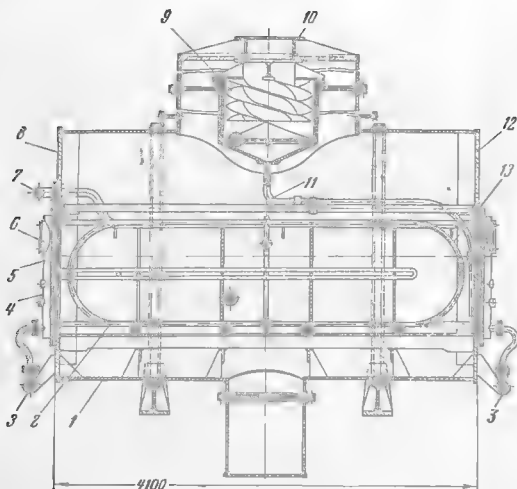


Рис. 10-3. Горизонтальный паротрубный секционный испаритель.

пар проходит внутри труб, называются водотрубными.

Паротрубный испаритель, изображенный на рис. 10-3, представляет собой горизонтальный цилиндрический корпус 1 с днищами 8 и 12 и пятью греющими трубчатыми секциями 2, погруженными в выпариваемую воду, которая подается по трубе 7. Каждая секция состоит из паровой камеры 4, разделенной перегородкой на две части, и U-образных труб 13, которые вальцованы в трубную доску 5 так, что концы их находятся с разных сторон перегородки паровой камеры. Греющий пар подводится к верхней части паровых камер 6, откуда он поступает в U-образные трубы, а конденсат греющего пара отводится через коллекторы 3. Для обеспечения надлежащей высоты парового пространства вторичного пара корпус имеет вертикальный сухопарник с центробежным сепаратором 9.

Водотрубный испаритель, изображенный на рис. 10-4, состоит из вертикального цилиндрического корпуса 1, внутри которого концентрически размещена греющая секция 2, представляющая собой обечайку с двумя сваренными в нее трубными досками с вальцованными в них стальными трубами, образующими поверх-

ность нагрева. Между греющей секцией и корпусом имеется кольцевое пространство. Центральная часть греющей секции трубами не заполнена; туда подается греющий пар 8. При работе испарителя нижняя часть корпуса заполнена водой, уровень которой поддерживается над греющей секцией. Вследствие наличия горизонтальной перегородки, не доходящей до периферии обечайки, движение пара происходит перпендикулярно оси труб от оси греющей секции к периферии в верхней части ее и от периферии к оси — в нижней. Конденсат греющего пара собирается в нижней секции и по трубе 5 отводится из испарителя. В верхней части корпуса организована барботажная промывка вторичного пара в слое питательной воды 6, образующейся над дырчатым листом 3, установленным на определенном расстоянии от зеркала испарения. При прохождении через этот слой пар очищается от концентрата, задержанного им с зеркала испарения. Проходящий через отверстия листа пар препятствует протеканию вниз питательной воды, подаваемой поверх листа, и вода удерживается над листом. По периферии листа расположены опускающиеся трубы 4, отводящие в нижнюю часть испарителя промывочную воду, состоящую из питательной воды, смешанной с частью концентрата, задержавшегося в промывочном слое в результате промывки пара. Скорость пара в отверстиях дырчатого листа составляет 8—10 м/сек. Диаметр отверстий 5—6 мм. Общая площадь сечения их составляет 5—5,5% площади поперечного сечения корпуса испарителя. Для улавливания капель, унесенных из промывочной зоны, на пути пара устанавливаются влагоулавливающие жалюзийные сепараторы 7. Вторичный пар выходит из испарителя через штуцер 9.

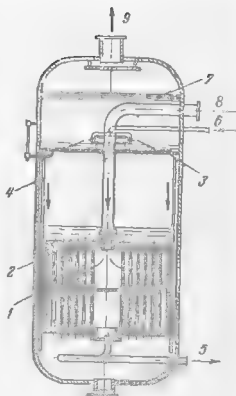


Рис. 10 4. Вертикальный водотрубный испаритель с одноступенчатой промывкой пара.

Данные длительной эксплуатации испарителей, оборудованных устройствами для промывки пара, свидетельствуют о том, что при солесодержании питательной воды до 1000 мг/кг и концентрата до 100 г/кг солесодержание дистиллята не превышало 1 мг/кг.

Основное преимущество вертикальных водотрубных испарителей заключается в том, что они хорошо komponуются с другим вспомогательным оборудованием турбины и удобно размещаются в машинном зале. Кроме того, коэффициент теплопередачи и качество дистил-

тята в вертикальных испарителях выше, чем в горизонтальных. Недостатком горизонтальных испарителей и паропреобразователей является необходимость иметь значительную площадь не только для их размещения, но и для размещения нагревательной системы, выдвигаемой из корпуса.

10-3. ВОДНОХИМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В целях предотвращения отложения накипи на поверхностях нагрева и снижения производительности испарителей последние необходимо питать водой с жесткостью, не превышающей 30 мг-экв/кг , а при солесодержании исходных вод выше 2000 мг/кг — с жесткостью, не превышающей 75 мг-экв/кг . Чтобы питательная вода испарителей отвечала указанным нормам, необходимо исходную воду подвергать осветлению, умягчению и термической деаэрации. Продолжительность рабочей кампании между очередными чистками испарителей в значительной степени зависит от качества питательной воды. Как показывают эксплуатационные данные, при питании испарителей водой, умягченной методами осаждения, продолжительность рабочей кампании их составляет 2000—2500 ч, а при питании катионированной водой — 10 тыс. ч и больше.

Чтобы снизить расход тепла и уменьшить производительность водоподготовительной установки, для питания испарителей используется низкокачественный производственный конденсат, а также продувочная вода парогенераторов. При этом вода, попадая в пространство с более низким давлением, частично испаряется без затраты на это тепла греющего пара.

В испарителях, питаемых Na-катионированной водой, происходит термический распад бикарбоната натрия с образованием коррозионноагрессивной уголекислоты. В целях предотвращения уголекислотной коррозии тракта питательной воды и снижения содержания оксидов железа в дистилляте испарителей необходимо осуществлять непрерывный отвод неконденсирующихся газов из парохладителя 5 (см. рис. 10-1) с одновременным проведением барботажной продувки дистиллята паром. Это дает возможность получить дистиллят с остаточным содержанием уголекислоты 1—2 мг/кг независимо от перво-

начального количества ее во вторичном паре испарителя. Предотвращения углекислотной коррозии можно также достигнуть применением обработки питательной воды испарителей по схеме H-Na-катионирования с декарбонизацией.

Для обеспечения надлежащей чистоты вторичного пара и соответственно высокого качества приготовляемого дистиллята необходимо поддерживать с помощью регуляторов питания требуемую высоту парового пространства, а также с помощью непрерывной продувки обеспечивать эксплуатационные нормы солевого содержания и щелочности концентрата. При давлении вторичного пара выше 7 кгс/см^2 и солевого содержания концентрата выше 50 г/кг при любом давлении вторичного пара следует применять фосфатирование концентрата с поддержанием избытка фосфата в пределах $5\text{--}7 \text{ мг/кг}$.

Эксплуатационные нормы качества концентрата испарителей и паропреобразователей должны быть установлены на основе индивидуальных теплотехнических испытаний с учетом требований, предъявляемых к качеству дистиллята испарителей и вторичного пара паропреобразователей.

10-4. СХЕМЫ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ИСПАРИТЕЛЕЙ

Подготовка питательной воды для испарителей можно осуществлять по одной из следующих схем:

а) Схема двухступенчатого Na-катионирования с предварительным известкованием и коагуляцией, но без магnezийного обескремнивания позволяет получить воду с остаточной жесткостью до 5 мг-экв/кг и щелочностью около $0,8 \text{ мг-экв/кг}$.

б) Схема последовательного H-Na-катионирования с «исходной» регенерацией H-катионита позволяет получать умягченную воду примерно такого же качества, как и предыдущая схема.

в) Обработка воды по схеме Cl-Na-ионирования основана на последовательном пропускании исходной воды через фильтр с анюнитом, содержащим обменный ион хлора, а затем через фильтр с Na-катионитом. В первом из них происходит процесс обмена практически всех анионов, присутствующих в воде, на анионы хлора, во втором — обмен всех катионов присутствующих в воде, на катионы натрия. В результате этого все содержащиеся в исходной воде соли переводятся в хлористый натрий, что делает ее пригодной для питания испарителей. При достижении допустимой остаточной жесткости конечного фильтрата ($10\text{--}15 \text{ мг-экв/кг}$) производится регенерация обоих фильтров $6\text{--}8\%$ -ным раствором NaCl, который пропускается последовательно через катионитный, а затем анионитный фильтры. В таком же порядке ведется и отмывка ионитов от

продуктов регенерации. Обработка воды по этой схеме позволяет получать фильтрат с остаточной жесткостью не больше 15 мг-экв/кг и щелочностью меньше 0,5 мг-экв/кг.

Из рассмотренных схем подготовки питательной воды для испарителей наиболее простой и целесообразной является первая в сочетании с рациональной вентиляцией паровой полости испарителей от неконденсирующихся газов (CO_2 и O_2).

В целях предотвращения коррозии испарителей обязательна предварительная деаэрация питательной воды; содержание в последней кислорода не должно превышать 30 мг/кг.

Особого внимания заслуживает использование морской воды для питания испарителей и барабанных парогенераторов. В отличие от пресных поверхностных вод морская вода характеризуется весьма высоким содержанием (табл. 10-1).

Таблица 10-1

Среднее содержание солей в морской воде

Наименование моря	Солевой состав, мг-экв/кг					Жесткость, мг-экв/кг		Соле-содержание, г/кг
	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	карбонатная	общая	
Каспийское . . .	137	18	59	68	143	3,6	77,6	12,8
Черное	200	10	35	23	219	3,6	45,1	14,3
Океан	490	20	110	61	557	2,1	130,2	36,0

Несмотря на высокое содержание, использование морской воды вместо пресной представляет большой интерес для районов, прилегающих к морям и почти полностью лишенных источников пресной воды.

Для предотвращения накипобразования в испарителях работа последних при высокой степени упаривания и высоких температурах требует предварительного глубокого умягчения морской воды. Применение обычных методов умягчения морской воды с ее высокой жесткостью требует громадного расхода реагентов, что делает эти методы неприемлемыми по экономическим соображениям.

Наиболее рациональным и экономичным методом глубокого умягчения морской воды является термохимический метод с применением предварительного известкования. Опытные промышленные установки по этому методу сооружены на ГРЭС «Северная» (Баку) производительностью 50 м³/ч и на Краснодарской ТЭЦ производительностью 420 м³/ч. Схемы этих установок показаны на рис. 10-5 и 10-6.

Сырая морская вода без предварительного подогрева поступает в реактор, где подвергается известкованию с протеканием следующих реакций:



В результате этих реакций CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, почти нерастворимые в воде, переходят в осадок, а магниевая жесткость переводится в сульфат кальция, составляющий основную часть жесткости известкованной морской воды. Исследования метода показали, что оптимальная величина остаточной магниевой жесткости после известкования составляет 7—9 мг-экв/кг, чему отвечает доза CaO около 1,5 кг/м³.

Из реактора известкованная вода с частицами карбоната кальция и гидроокиси магния насосом подается в верхнюю часть термо-

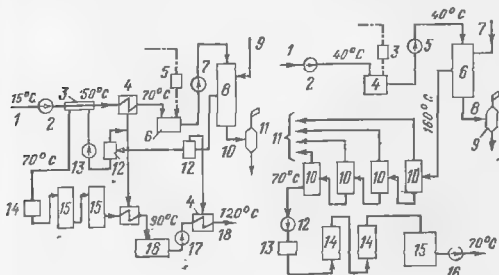


Рис. 10-5. Схема установки для термохимического умягчения морской воды на ГРЭС «Северная» (Баку).

1 — вход морской воды; 2 — насос морской воды; 3 — водоводяной подогреватель; 4 — пароводяной подогреватель; 5 — дозатор известкового молока; 6 — реактор; 7 — насос термоумягчителя; 8 — термоумягчитель; 9 — вход греющего пара; 10 — продувка; 11 — расширитель продувки; 12 — расширитель умягченной воды; 13 — насос термически умягченной воды; 14 — осветлительный фильтр; 15 — катионитный фильтр; 16 — бак катионированной воды; 17 — питательный насос испарителей; 18 — подача воды на испарители.

Рис. 10-6. Схема установки для термохимического умягчения морской воды на Краснодарской ТЭЦ.

1 — вход морской воды; 2 — насос морской воды; 3 — дозатор известкового молока; 4 — реактор; 5 — насос термоумягчителя; 6 — термоумягчитель; 7 — вход греющего пара; 8 — продувка; 9 — расширитель продувки; 10 — расширитель умягченной воды; 11 — пар на испарительную установку; 12 — насос умягченной воды; 13 — осветлительный фильтр; 14 — катионитный фильтр; 15 — бак катионированной воды; 16 — питательный насос испарителей.

умягчителя (рис 10-7) через распыляющее водяное сопло 2. Здесь она подогревается до 160—165°C паром, поступающим под воду под давлением 7—7,5 кгс/см² по четырем барботажным трубам 7. При нагреве происходит пересыщение воды сульфатом кальция, имеющим отрицательный коэффициент растворимости, и выделение его в осадок (шлам).

Подогретая вода со взвешенными в ней частицами осадков поступает по опускной трубе 12 в нижнюю камеру 13, где часть шлама осаждается, а другая часть вместе с водой поднимается

вверх по диффузору 14, в котором происходит равномерное распределение частиц по сечению. По выходе из диффузора вода проходит через шламовый фильтр высотой 1,4 м, окончательно осветляясь и через дырчатый лист 10, а затем через дроссельный вентиль 9 выводится из термоумягчителя. Для снижения температуры термоумягченной воды перед последующим катионированием без потерь тепла греющего пара она пропускается через последовательно включенные расширители, а затем через водоводяные подогреватели сырой морской воды, поступающей на обработку.

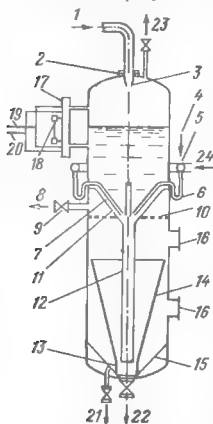


Рис. 10-7. Схема термоумягчителя.

1 — подвод известкованной морской воды, 2 — распыливающее водяное сопло; 3 — наконечник сопла; 4 — подвод пара, 5 — кольцевой коллектор пара, 6 — конденсатор, 7 — барботажная паровая труба, 8 — отвод термоумягченной воды; 9 — дроссельный вентиль, 10 — дырчатый лист, 11 — верхний конус; 12 — опускающаяся труба, 13 — камера для сбора шлама из трубы; 14 — конус диффузор, 15 — инжекционный корпус для сбора шлама; 16 — лавы; 17 — успокоительная труба, 18 — водоуказательное стекло; 19 — отбор импульса на сниженный указатель уровня; 20 — отбор проб на указатель уровня; 21 — продувка из нижнего конуса; 22 — продувка из камеры для сбора шлама; 23 — удаление неконденсирующихся газов; 24 — подвод пара.

При нормальном режиме известкования выходящая из термоумягчителя вода имеет жесткость не выше 20 мг-экв/кг против 77,6 мг-экв/кг в исходной морской воде, т. е. снижается почти в 4 раза. Содержание сульфатов снижается с 3260 мг/кг в среднем до 477 мг/кг, т. е. почти в 7 раз, что весьма существенно для обеспечения безнакипного режима испарителей. Кроме умягчения и снижения солесодержания воды, в термоумягчителе происходит удаление взвешенных, коллоидных и органических примесей, адсорбируемых осадками, а также декарбонизация и деаэрация воды. Содержание кислорода снижается до 0,01—0,02 мг/кг.

Доумягчение воды после термоумягчителя осуществляется в двухступенчатой противоточной На-катионитной установке до 0,1—0,3 мг-экв/кг. На-катионитные фильтры первой ступени отключаются на регенерацию при жесткости фильтрата 10 мг-экв/кг. На-катионитные фильтры второй ступени работают до жесткости фильтрата 0,5 мг-экв/кг, причем последние переводятся на работу в качестве фильтров первой ступени, а во вторую ступень включается свежееотренированный фильтр. Фильтры регенерируются сначала отработанным рассолом от предыдущей регенерации, а затем продувочной водой испарителей — рассолом, содержащим до 100 г/кг натриевых солей. Отмывка фильтров производится катионированной водой при расходе 1,6 м³ на 1 м² катионита, что составляет около 7% количества обработанной воды. Обменная емкость сульфогеля составляет 330—450 г-экв/м³.

За исключением регенерации фильтров все мероприятия по регулированию работы умягчителей, установок и испарителей, в частности дозировка извести, прудка термоумягчителя и испарителей, регулирование уровня воды и температуры термоумягчителя, полностью автоматизированы.

Глубокое умягчение морской воды позволило на Краснодарской ТЭЦ осуществить непосредственное питание умягченной морской водой барабанных парогенераторов среднего давления. Непосредственное питание парогенераторов умягченной морской водой позволяет использовать паротурбинные электростанции для выработки дешевой опресненной морской воды в больших количествах путем перевода электростанций на работу по разомкнутому циклу, при котором конденсат турбин не возвращается в парогенератор, а используется как пресная вода.

ГЛАВА ОДИНАДЦАТАЯ

ОБРАБОТКА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН

11-1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Вода, применяемая на тепловых электростанциях для охлаждения пара в конденсаторах паровых турбин, берется обычно из открытых водоемов. В тех случаях, когда не удается разместить ТЭС вблизи большой реки, на берегу большого озера или моря, приходится применять обратную (циркуляционную) систему водоснабжения с охладителями различных типов (градирнями, брызгальными бассейнами, прудами-охладителями). При оборотной системе водоснабжения охлаждающая вода совершает циркуляционное движение по контуру, включающему конденсаторы турбин и охладительные устройства (рис. 11-1).

Охлаждающая вода содержит различные примеси как органического, так и неорганического происхождения, которые при известных условиях приводят к образованию отложений на охлаждаемой поверхности теплообменных аппаратов и трубопроводов, а иногда к коррозии этой поверхности (см. гл. 2 и 3). Борьба с этим явлением ведется путем периодических очисток охлаждаемых поверхностей теплообменных аппаратов от отложений или путем организации мероприятий профилактического характера, предотвращающих образование отложений. Все способы периодических очисток охлаждаемых поверхностей обладают одним принципиальным недостатком: они не обеспечивают длительной работы

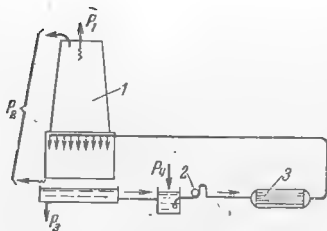


Рис. 11-1 Схема оборотной циркуляционной системы.

1 — охладитель (градирня); 2 — циркуляционный насос; 3 — конденсатор; P_1 — потеря воды на испарение; P_2 — потери воды с уносом; P_3 — продувка; P_4 — добавка

конденсатора без загрязнения его поверхности между двумя очередными чистками.

В целях предотвращения образования отложения накипи в конденсаторах применяются: а) продувка системы оборотного водоснабжения; б) обработка циркуляционной охлаждающей воды реагентами (подкисление, рекарбонизация, фосфатирование); в) пропускание воды через магнитное поле. Для предотвращения биологических обрастаний конденсаторов применяется хлорирование охлаждающей воды и обработка ее медным купоросом.

11-2. ПРОДУВКА СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В условиях оборотного водоснабжения происходит постоянное повышение общего солевого содержания охлаждающей воды, в частности увеличение концентрации бикарбоната кальция по сравнению с исходной водой как за счет испарения (упаривания), так и за счет внесения в систему некоторого количества солей с добавкой свежей воды, восполняющей потери на испарение, унос и пр.

Степень упаривания характеризуется коэффициентом упаривания

$$K_y = \frac{C_n}{C_k}, \quad (11-1)$$

где C_0 и C_d — концентрации не выпадающих в осадок летучих веществ в циркуляционной и добавочной воде.

Условие безнакипного режима работы оборотной системы определяется выражением

$$K_y = \frac{JK_{\kappa}^u}{JK_{\kappa}^d}, \quad (11-2)$$

откуда

$$JK_{\kappa}^u = K_y JK_{\kappa}^d, \quad (11-3)$$

где JK_{κ}^u и JK_{κ}^d — карбонатные жесткости циркуляционной и добавочной воды.

Если фактическая карбонатная жесткость циркуляционной воды JK_{κ}^u меньше расчетной JK_{κ}^d , то это значит, что в оборотной системе идет выпадение CaCO_3 в количестве

$$\Delta JK = K_y JK_{\kappa}^d - JK_{\kappa}^u. \quad (11-4)$$

Чтобы уменьшить интенсивность накипобразования ΔJK , следует работать с небольшим коэффициентом упаривания K_y . Достигнуть этого можно продувкой системы, величина которой $p_{\text{пр}}$ в процентах количества циркулирующей воды Q_d определяется из солевого баланса системы:

$$\frac{p_1 + p_{\text{пр}}}{100} Q_d C_d = \frac{p_{\text{пр}}}{100} Q_d C_d;$$

$$p_{\text{пр}} = \frac{C_d}{C_d - C_0} p_1 = \frac{1}{K_y - 1} p_1, \quad (11-5)$$

где p_1 — потеря воды от испарения в процентах от количества циркуляционной воды.

Продувка оборотной системы водоснабжения осуществляется двумя путями: часть ее p_2 уносится в виде капель, другая p_3 выводится организованно с продувкой и отбором на технологические нужды, т. е. $p_{\text{пр}} = p_2 + p_3$. Вода, удаляемая из системы, заменяется добавочной водой.

11-3. ОБРАБОТКА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ

Одним из способов предотвращения отложений в конденсаторах при оборотной системе водоснабжения является обработка охлаждающей воды кислотой. Для этого обычно применяется серная кислота как более дешевая и менее дефицитная. При обработке воды серной кисло-

той бикарбонат кальция превращается в достаточно хорошо растворимый в воде сульфат кальция с одновременным выделением свободной углекислоты и повышением концентрации последней в воде:



Так как при обработке воды кислотой происходит уменьшение карбонатной жесткости воды, потребность ее в углекислоте для стабилизации (см. гл. 1) оставшейся

в растворе части бикарбонатов уменьшается. Свободная углекислота, выделяющаяся при переводе части бикарбонатов в сульфаты, способствует удержанию в растворе оставшихся бикарбонатов. Поэтому при подкислении воды нет необходимости в полном удалении бикарбонатов из охлаждающего воды. Для предотвращения отложений достаточно ограничиться уменьшением ее карбонатной жесткости настолько, чтобы оставшаяся часть последней соответствовала имеющемуся в воде количеству свободной («равновесной») углекислоты. Непосредственной

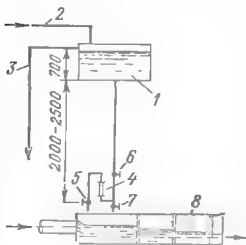


Рис 11.2. Схема установки для дозирования серной кислоты в охлаждающую воду.

1 — бак для крепкой кислоты; 2 — подача кислоты со склада; 3 — перелив в цистерну на складе; 4 — ротаметр; 5 — иглообразный вентиль для регулирования расхода кислоты; 6 — запорный вентиль; 7 — сливной кран; 8 — смеситель.

обработке кислотой обычно подвергается только добавочная вода, поступающая в циркуляционную систему для восполнения потерь. Рекомендуется при подкислении выбирать такой режим, чтобы карбонатная жесткость воды, обработанной кислотой, была не ниже 1,5—2,0 мг-экв/кг. Этот остаточный буфер карбонатной жесткости предохранит систему от попадания в нее свободной кислоты при случайных неточностях в дозировке, которое при отсутствии такого буфера может привести к коррозии элементов оборудования циркуляционной системы. На рис. 11-2 показана схема простейшей установки для дозирования серной кислоты в охлаждающую воду.

Для стабилизации охлаждающей воды недостаток в ней свободной углекислоты можно компенсировать путем обработки ее дымовыми газами. Для этого газы прочувываются через слой обрабатываемой воды или смешиваются с водой при помощи эжектора. При этом содержащаяся в газах углекислота переходит в раствор. Насыщение воды углекислым газом, как и в случае подкисления, прекращает распад бикарбонатов и предотвращает отложение карбонатной накипи. В отличие от подкисления, при котором получается одновременное

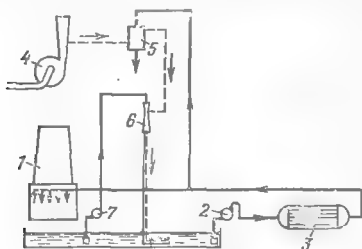


Рис. 11-3 Схема установки для рекарбонизации циркуляционной воды.

1 — градирня, 2 — циркуляционный насос 3 — конденсатор, 4 — дымосос, 5 — теплоутилизатор; 6 — эжектор; 7 — насос для подачи воды в эжектор

с повышением концентрации CO_2 снижение щелочности добавочной воды, при рекарбонизации щелочность воды не изменяется. Наиболее просто рекарбонизация осуществляется при сжигании в парогенераторах природного газа. Использование дымовых газов от сжигания пылевидного топлива сопряжено с предварительной очисткой их от золы, что значительно усложняет и удорожает установку. На ТЭС получила применение система подачи дымовых газов с помощью водоструйных эжекторов. Схема такой установки показана на рис. 11-3.

Некоторые поверхностно-активные вещества при очень малых их концентрациях способны предотвращать образование карбонатной накипи. К числу таких веществ относятся некоторые фосфатные соединения, добавление

которых в небольших количествах в воду позволяет ее стабилизировать. В качестве реагентов для обработки охлаждающей воды применяются гексаметафосфат натрия ($\text{Na}_6\text{P}_{10}\text{O}_{36}$), тринатрийфосфат $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, которые при поддержании их концентрации в охлаждающей воде на уровне 1,5—2,5 мг/кг PO_4^{3-} лишают карбонат кальция его накипеобразующих свойств. Схема установки для фосфатирования охлаждающей воды изображена на рис. 11-4.

Для предотвращения накипеобразования в конденсаторах может быть применена также магнитная обработка охлаждающей воды (см. гл. 12). Опыт эксплуатации ряда отечественных ТЭС свидетельствует о положитель-

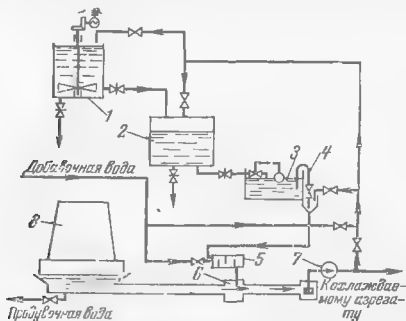


Рис. 11-4. Схема установки для фосфатирования циркуляционной воды

1 — бак с мешалкой для растворения фосфата, 2 — расходный бак слабого фосфатного раствора, 3 — дозировочный бачок с поплавковым клапаном, 4 — сифон дозатора с регулирующим винтовым зажимом, 5 — смеситель, 6 — колодец оборотной системы, 7 — циркуляционный насос, 8 — градирня.

ных результатах применения комбинированной магнитной обработки охлаждающей воды и непрерывной очистки конденсаторных трубок за счет рециркулирующих резиновых шариков (см. гл. 3).

Эффективным способом борьбы с биологическими обрастаниями конденсаторных трубок является обработ-

ка охлаждающей воды хлором, в присутствии которого микроорганизмы погибают. Хлорирование производится периодически. Продолжительность хлорирования принимается от 10 до 20 мин, а интервалы между подачами хлора в воду от 2 до 24 ч в зависимости от степени загрязнения воды органическими веществами, видов развивающихся в охлаждающей системе микроорганизмов и интенсивности их развития. Режим хлорирования обычно подбирается опытным путем. Доза хлора зависит от содержания в воде органических и неорганических соединений, окисляющихся хлором в данных условиях, и подбирается с таким расчетом, чтобы в воде, выходящей из конденсатора, содержание активного хлора составляло 0,4—0,5 мг/кг. При сбросе хлорированной охлаждающей воды в водоемы с рыбохозяйственным использованием следует иметь в виду, что повышение концентрации активного хлора в воде водоема может нанести вред рыбам. Эксплуатация хлораторных установок на жидком хлоре должна производиться при строжайшем соблюдении действующих правил техники безопасности.

На электростанциях небольшой и средней мощности для хлорирования охлаждающей воды может применяться хлорная известь в виде раствора соответствующей концентрации. Будучи равноценной с жидким хлором по своим бактерицидным свойствам, она имеет перед ним известные преимущества как в смысле улучшения эксплуатации хлораторной установки, так и в смысле большей простоты оборудования. Установка состоит из бака для приготовления раствора и дозирующего устройства. При применении хлорной извести полностью исключается опасность отравления персонала, отсутствует необходимость повседневного наблюдения за появлением неплотностей и устранением утечек хлора, упрощается транспортировка по железной дороге, не требуются специальные склады.

Обработка охлаждающей воды медным купоросом применяется для борьбы с биологическим обрастанием трубопроводов, градирен и конденсаторов. Необходимая и достаточная для этих целей доза медного купороса составляет 0,1—0,3 мг/кг Св.

Медный купорос можно применять и для борьбы с обрастанием моллюсками (двустворчатыми ракушками) при использовании в охлаждающих системах морской воды, создавая во время обра-

ботки концентрацию меди в охлаждающей воде 6—8 мг/кг в течение 1—2 ч каждые 2—3 дня

Для борьбы с рапаном в трубах моллюсков можно применять и периодическое пропускание по трубам горячей воды с температурой 40—45 °С в течение 4—5 ч через каждые 10—15 суток в периоды развития моллюсков.

ГЛАВА ДЕСНАДЦАТАЯ

МАГНИТНАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ

12-1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Магнитная обработка воды заключается в том, что поток охлаждающей воды, пересекая на своем пути магнитные силовые линии, расположенные перпендикулярно направлению движения воды, подвергается воздействию магнитного поля. Как показали исследования, при нагревании воды, прошедшей магнитную обработку, карбонат кальция выделяется из воды не в виде твердой накипи, а в виде мелкодисперсных частиц, являющихся центрами кристаллизации. Наличие огромного количества центров кристаллизации, поверхность которых во много раз превосходит площадь поверхности нагрева, приводит к тому, что накипобразующие соли переходят в твердую фазу не на поверхности нагрева, а в объеме воды на поверхности центров кристаллизации, превращающихся в частицы шлама, легко удаляемые с проточной водой или продувкой.

Обработка воды магнитным полем получила широкое применение для борьбы с накипобразованием в конденсаторах паровых турбин, в парогенераторах низкого давления и малой производительности, в тепловых сетях и сетях горячего водоснабжения и различных теплообменных аппаратах, где применение более совершенных методов обработки воды нецелесообразно по экономическим соображениям.

По сравнению с умягчением воды методами осаждения с применением реагентов и методами катионного обмена, а также по сравнению с методами химического и термического обессоливания воды основными преимуществами магнитной обработки воды являются простота, дешевизна, безопасность и почти полное отсутствие эксплуатационных расходов.

12-2 ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ВЫДЕЛЕНИЕ НАКИПЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ТВЕРДУЮ ФАЗУ

Теоретические основы процесса воздействия магнитного поля на воду и ее примеси пока еще не разработаны, хотя отдельными учеными высказаны различные гипотезы, объясняющие процесс магнитной обработки воды.

На основании исследований, проведенных в МЭИ, О. И. Маргшиновой и Б. Т. Гусевым установлено следующее: 1) магнитная обработка химически чистой воды не дает изменений контролируемых физических показателей (электропроводности, оптической плотности, химического состава, противонакипного эффекта); 2) магнитная обработка природных вод или растворов солей приводит к уменьшению интенсивности образования накипи на поверхностях нагрева только при условии пересыщенности их как карбонатом, так и сульфатом кальция в момент воздействия магнитного поля и при условии, если концентрация свободной углекислоты меньше ее равновесной концентрации; 3) наличие в обрабатываемой воде окислов железа, всегда присутствующих в любой технологической воде, в том числе и в дистиллированной, оказывает влияние на противонакипный эффект магнитной обработки воды, однако механизм этого влияния еще не ясен.

Противонакипный эффект магнитной обработки воды определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{G_n - G_m}{G_n} \cdot 100\% \quad (12-1)$$

где G_n и G_m — вес накипи, образовавшейся на поверхности нагрева при кипячении в одинаковых условиях одного и того же количества воды, необработанной и обработанной магнитным полем. Величина $\mathcal{E}$ зависит от состава воды, напряженности магнитного поля, скорости потока воды в магнитном поле, продолжительности пребывания воды в магнитном поле и от других факторов. Для получения максимального противонакипного эффекта магнитной обработки воды необходимо соблюдать оптимальные значения перечисленных факторов, которые определяются при наладке работы установки.

12-3 КОНСТРУКЦИИ АППАРАТОВ ДЛЯ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Для магнитной обработки воды применяются аппараты с электромагнитами и с постоянными стальными или феррито-бариевыми магнитами.

На рис. 12-1 показан аппарат с электромагнитом, состоящий из корпуса 1, внутри которого расположен электромагнит 2, защищен-

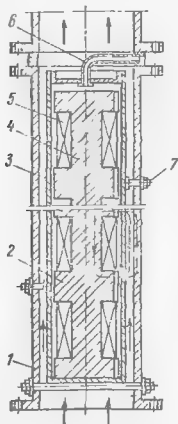


Рис. 12-1. Электромагнитный аппарат для обработки воды.

1 — корпус-труба; 2 — электромагнит; 3 — кожух из немагнитного материала; 4 — сердечник; 5 — катушка; 6 — выводная труба; 7 — регулировочный болт.



Рис. 12-2. Схема соединения катушек и включение их в цепь постоянного тока.

ный кожухом 3 из немагнитного материала (алюминия). Электромагнит состоит из стального стержня — сердечника 4 и десяти катушек. Катушки 5 имеют смешанное соединение: пять параллельно включенных пар, в которых катушки соединены последовательно со встречным включением (рис. 12-2). Аппарат подключается к выпря-

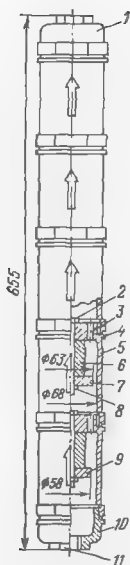


Рис. 12-3 Аппарат для магнитной обработки воды.

1 — верхняя крышка; 2 и 8 — болт с гайкой; 3 — отверстие в дне стакана; 4 — прокладка; 5 — медный стакан (магнитопровод); 6 — постоянный магнит; 7, 9 — полюсные наконечники; 10 — нижняя крышка; 11 — шестигранник.

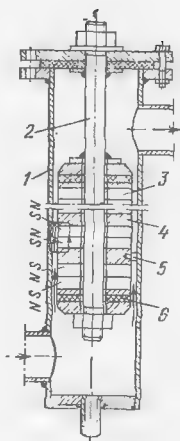


Рис. 12-4. Аппарат для магнитной обработки воды с феррито-бариевыми магнитами.

1 — корпус; 2 — латунный стержень; 3 — феррито-бариевая магнитная шайба; 4 — стальная шайба; 5 — регулирующий пьез; 6 — резиновая шайба.

матею Од ко ца м з во ко х и т наглухо вв реиное
и Н р оу кои т е е я ф ц х р и р о i t t т у руб-
к для вывода водов. иаю их е рома i. Д я а но
ме i о п д т е т о о к э к т о м и t r r -
с я и н i а т а б х 7 д п i к e i t
го ра К ус i, в ко ор м п меш t к т р и т и п и е д а
к н х ф л н i у а к в i у : рубопр а до б ч ой
в i в в е р a i о ж i i П о i м ж d o у x i и
э. ромагнит м ч т р i c k б з о л н e я p i c f p m t r i m
м м

Вод: пр т к т с и н i в е р х с о - к р i ю i, — 2,5 — к п к зь-
ц в м аз меж у к п м и ко жу о м 9 т р м п а К i ш к i
с i p i n i a o y i t m a g n i t y п i n i t y k t o t a p e z п
уж i t t y t p i M p i k p a — t 20, д н к a
Ст. 5 Н х о д и л о e i i o п o k y в в y p i t t i m m t m
ч и о б y п ж i t н о c t p p i t a д y m i t m п i b i z
в п р e d a x 0 1 — 0 5 c k. Н a п p я ж e н и e м a g n i t o i o t o t a — 0 0 л o
1 0 0 0 9

Общий вид м аг пол с н о г о м a g n i t н о г о п п a t c п t я n n m i
м a p t i i (п р o i k n n m i t n i y c t i t o) п k a z i п
p i 1 3 A a p t i p i p i t i c i t y t n y c c h i o e z i n y c
м ж б o i n p i b e T и п a я c k ц и я м t i t o n t i z i y y n
го а к n a (м a g n i t п o o d a) 5 и ц н d p e c o г o
и a 6 c п o л ю м n a o i k o m 7, y n y x б o l m i n a i i
с d i c t n t M a n n i z o t v c i z e c a i n n i o
п в Ю Н Д К - 2 4, п i t y n k i c k i c i z i y t i t i
л и. К в e c o в o i в з d i y n i z m ж y m k e i k m i
c t a k н o m c a v 2 5 м t, a м ж d y m t m c t a k a y o m — 1 5 м.

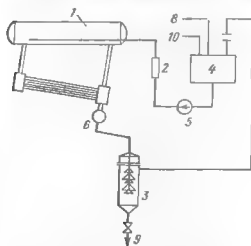


Рис. 12-5. Принципиальная схема магнитной обработки питательной воды котлов.

1 — 2 — а п а т л я м a n i t н o i o б p a б o t k и в o d y, 3 — ш л a m o - o t d e л и т е л ь, 4 — п и т a т е л ь н ы й б a k; 5 — п и т a т е л ь н ы й н a c o c, 6 — м e c t o в o d o p a ш л a m a, 7 — д p o c c e л ь н a я i d m i a 9 — c y p z a в o d a, 9 — в i л a - m o d c t o i y n n k, 10 — k o n d e n c a t.

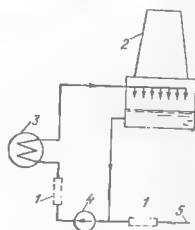


Рис. 12-6. Схема установки магнитного аппарата в циркуляционной системе охлаждения конденсатора турбины.

1 — в o з m o ж n o e м e c t o y c t a - n o n k и a п п a p a t a; 2 — г p a d и p - и я, 3 — k o n d e n c a t o p г y p b и - н ы, 4 — ц и p k y л я ц и o n н ы й н a c o c; 5 — д o б a в o ч н a я в o d a.

Поступающая в стакан вода проходит через эти зазоры, пересекает магнитные поля и подвергается магнитной обработке. Через отверстия 3 в дне стакана вода поступает в следующую секцию. Последовательное пересечение водонепроницаемых пяти секций обеспечивает необходимую ее магнитную обработку. Напряженность магнитного поля в зазоре 2,5 мм составляет 2200—2400 э. Производительность по воде составляет до 3 м³/ч. Рекомендуемые скорости воды лежат в пределах 0,5—2,5 м/сек. Аппарат предназначен для установки на отопительные котлы типа «Универсал».

На рис. 12-4 приведена конструкция аппарата для магнитной обработки воды с полыми феррито-бариевыми магнитами (шайбами). Размеры магнитов диаметр наружный 85 мм, внутренний 26,5 мм, толщина 15 мм.

Аппарат состоит из стального корпуса 1, латунного стержня 2, на который в определенной последовательности надеты феррито-бариевые магнитные и стальные шайбы 3, 4 (материал последних — низкоуглеродистая сталь). Напряженность магнитного поля в кольцевом зазоре зависит от количества феррито-бариевых шайб в каждой секции.

Во время работы установки вода проходит снизу вверх по кольцевому зазору с определенной скоростью, многократно пересекая силовые линии.

Схема установки для обработки добавочной питательной воды отопительных паровых котлов приведена на рис. 12-5, а схема установки магнитного аппарата в циркуляционной системе охлаждения конденсатора турбины приведена на рис. 12-6.

Конструкция аппарата для магнитной обработки охлаждающей воды должна обеспечить пропуск большого количества обрабатываемой воды. Для этой цели наиболее пригодны аппараты с электромагнитами для сплошной обработки воды, которые могут быть сконструированы с пропускной способностью в несколько тысяч м³/ч.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

13-1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В связи с сооружением мощных ТЭС и развитием теплофикационных сетей с открытым горячим водоразбором в последние годы возникла потребность в водоподготовительных и конденсатоочистительных установках с единичной производительностью до 1000 м³/ч и больше. В результате этого водоподготовительная установка из небольшого придатка к основным цехам ТЭС развилась в крупный самостоятельный цех, размещен-

ный в специальном отдельном корпусе, оборудованном основной и вспомогательной аппаратурой, средствами автоматизации и контроля. К нему примыкает обширное складское реагентное хозяйство, оснащенное средствами механизации трудоемких работ. Такое развитие водоподготовительных установок обусловлено не только ростом мощности ТЭС, но также и значительным усложнением схем обработки добавочной воды и конденсатов в связи с повышением требованиями к их качеству.

При выборе рациональной схемы водоподготовительной установки и сравнении конкурирующих методов и схем приготовления добавочной питательной воды парогенераторов в конечном счете решающими показателями являются себестоимость тонны обработанной воды, эксплуатационные расходы, связанные с обработкой котловой воды, и потери тепла с продувочной водой, отнесенные к 1 кВт·ч выработанной электроэнергии. Правильное решение этой задачи состоит в том, чтобы для каждого конкретного случая найти оптимальный вариант водоподготовки и водного режима парогенераторов, обеспечивающий надежную и в то же время экономичную работу ТЭС.

Для выполнения проекта водоподготовительной установки в общем случае должны быть заданы тип, мощность и параметры пара ТЭС; место строительства ее; потери пара и конденсата внутри ТЭС и у внешних потребителей; тип, паропроизводительность и количество установленных парогенераторов с указанием схемы внутрикотловых устройств (наличие или отсутствие ступенчатого испарения, промывочно-сепарационных устройств).

При проектировании водоподготовительной установки необходимо выполнять: выбор источника водоснабжения; выбор принципиальной схемы водоподготовительной установки; определение необходимых показателей качества воды после основных стадий ее обработки; технологический расчет выбранной схемы водоподготовительной установки, в том числе определение числа и габаритов основного и вспомогательного оборудования, потребного расхода реагентов и расхода воды и электроэнергии на собственные нужды установки; выполнение чертежа развернутой схемы водоподготовительной установки с включением основного и вспомогательного оборудования, трубопроводов, арматуры, контрольно-измерительных

приборов и средств автоматизации; выполнение чертежей компоновки оборудования водоподготовительной установки; составление пояснительной записки к проекту и спецификации оборудования; технико-экономические расчеты по определению капитальных затрат и стоимости 1 м³ обработанной воды.

13-2. ВЫБОР ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ

При проектировании водоподготовительной установки вопросам, связанным с выбором источника водоснабжения, должно быть уделено серьезное внимание. Выбор исходной воды определяется в каждом отдельном случае специфическими условиями данного района и, в частности, той площади, на которой сооружается ТЭС.

В тех случаях, когда имеется несколько источников водоснабжения, выбор того или иного из них для водоподготовки должен решаться на основании сравнительных технико-экономических расчетов путем сравнения стоимости обработки воды, а также расходов, связанных с продувкой парогенераторов и испарителей, питающихся химически обработанной водой.

Если для приготовления добавки для питания парогенераторов представляется возможным использовать поверхностную либо артезианскую воду при примерно одинаковом общем солесодержании, предпочтение следует отдать последней, так как физико-химический состав артезианской воды устойчив в различные времена года и она, как правило, прозрачна. Эти свойства артезианской воды позволяют упростить и удешевить водоподготовительную установку и значительно облегчат ее эксплуатацию. Ввиду прозрачности артезианской воды и отсутствия в ней органических веществ отпадает необходимость в ее предварительном коагулировании и осветлении. Отпадает также опасность старения анионитовых смол, чувствительных к органическим примесям.

В тех случаях, когда в качестве источника водоснабжения приходится использовать открытые водосмы (реки, озера, водохранилища), следует в первую очередь выяснить, не угрожает ли опасность загрязнения их стоками промышленными предприятиями, содержащими такие вещества, которые не могут быть удалены в процессе водоподготовки, но могут нарушить нормальную работу ТЭС. Для обеспечения нормальной работы элек-

трасташий необходимо обеспечить максимальную очистку вод соседних промышленных предприятий, загрязняющих естественный водоем. Если же это мероприятие практически неосуществимо, следует удалить площадку электростанций от этих предприятий или расположить ее выше последних по течению реки.

Если источником водоснабжения служат открытые водоемы, то необходимо учитывать, что качество поверхностных вод изменяется циклично не только по временам года, но и в многолетнем разрезе. Так, например, средняя за год жесткость воды не остается в данном источнике неизменной. Она выше в засушливые годы, ниже в годы, обильные осадками. Поэтому нельзя проектировать водоподготовительные установки для обработки поверхностных вод на основании случайных анализов воды. Для этого необходимо располагать полными и достаточно точными данными, характеризующими качество воды поверхностного источника водоснабжения не только по сезонам года, но и за ряд лет. Это требование объясняется тем, что каждая водоподготовительная установка должна быть рассчитана на обработку воды применительно к наилучшим показателям ее. Для артезианских вод, обладающих относительно постоянным составом, можно ограничиться двумя-тремя анализами. Химический состав вод характерных источников водоснабжения приведен в приложении.

13.3. ВЫБОР СХЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАЧЕСТВА ИСХОДНОЙ ВОДЫ И ТИПА ПАРОГЕНЕРАТОРА

По влиянию на выбор схемы водоподготовки природные воды можно разделить на следующие типы: а) осветленные и неосветленные; б) воды с малой и повышенной общей щелочностью; в) воды с малой и повышенной относительной щелочностью; г) воды со щелочностью, превышающей и не превышающей общую жесткость воды; д) воды с малым, средним и высоким содержанием некарбонатных солей; е) воды, не содержащие и содержащие нитриты и нитраты; ж) воды с большим и малым содержанием кремниевой кислоты.

Осветленные воды (артезианские, ключевые, из коммунальных питьевых водопроводов, воды из централь-

ных фильтрационно осветительных установок производственных предприятий) не требуют коагуляции и осветления и могут непосредственно поступать на ионитные фильтры. Неосветленные поверхностные воды, загрязненные взвешенными и коллоидными веществами (воды рек, озер, прудов и искусственных водохранилищ), должны обязательно подвергаться коагуляции до обработки их методами ионного обмена.

Природные воды с малой общей щелочностью (менее 2 мг-экв/кг) для парогенераторов низких и средних давлений (до 40 кгс/см²) могут умягчаться путем натрий-катионирования без снижения щелочности. Природные воды с повышенной общей щелочностью (выше 2 мг-экв/кг) могут обрабатываться таким же способом для парогенераторов низких и средних давлений, если безвозвратные потери пара и конденсата, возмещаемые обработанной водой, невелики и могущее выделиться в пар количество СО₂ не превысит 20 мг/кг.

Природные воды с повышенной общей щелочностью (выше 2 мг-экв/кг) и особенно воды с повышенной относительной щелочностью (выше 20%), как правило, подвергаются не только натрий-катионированию, но и снижению щелочности путем известкования, Н-катионирования или подкисления. Для снижения щелочности природных вод со щелочностью, превышающей общую жесткость, следует применять Н-катионирование или подкисление, но не известкование, которым снижение щелочности подобных вод не достигается.

Природные воды с малым содержанием некарбонатных солей можно обессоливать и обескремнивать по упрощенной схеме (двухступенчатое Н-катионирование — декарбонизация — сильноосновное анионирование).

Природные воды с повышенной некарбонатной жесткостью (от 2 до 8 мг-экв/кг) подвергаются глубокому химическому обессоливанию и обескремниванию по схеме двухступенчатого Н-катионирования и анионирования с промежуточной декарбонизацией для приготовления добавочной питательной воды для барабанных парогенераторов с. в. д. и с. к. д. и по схеме трехступенчатого Н-катионирования и анионирования с промежуточной декарбонизацией — для прямоточных парогенераторов.

Природные воды с высоким содержанием некарбонатных солей, превышающим 8 мг-экв/кг, подвергаются гер-

мическому обессоливанию в испарителях или паропреобразователях.

Природные воды, содержащие значительное количество кремниевой кислоты, для питания барабанных парогенераторов высокого и сверхвысокого давлений подвергаются магниезальному обескремниванию или обескремниванию по методу анионного обмена в сильноосновных анионитных фильтрах в схемах полного химического обессоливания воды. Воды, содержащие нитриты и нитраты натрия, требуют присадки сульфита натрия или гидразина для предотвращения кислородной коррозии, а при высоких давлениях — полного химического обессоливания.

13-4. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПОСЛЕ ОТДЕЛЬНЫХ СТАДИЙ ЕЕ ОБРАБОТКИ

А. Качество воды после предварительной очистки

а) После коагуляции воды сернокислым алюминием:

$$\begin{array}{ll} \text{Жесткость воды} & \text{мг экв/кг} \\ \text{Карбонатная} \dots\dots\dots & Ж_{\text{к}} = Ж_{\text{к}}^{\text{исх}} - K_{\text{Al}} \\ \text{Некарбонатная} \dots\dots\dots & Ж_{\text{нк}} = Ж_{\text{нк}}^{\text{исх}} + K_{\text{Al}} \\ \text{Общая} \dots\dots\dots & Ж_{\text{о}} = Ж_{\text{о}}^{\text{исх}} \end{array}$$

где $Ж_{\text{к}}^{\text{исх}}$, $Ж_{\text{нк}}^{\text{исх}}$ и $Ж_{\text{о}}^{\text{исх}}$ — жесткость карбонатная, некарбонатная и общая исходной воды; K_{Al} — доза сернокислого алюминия для коагуляции, мг-экв/кг.

Щелочность остаточная $Щ_{\text{ост}} = Щ_{\text{о}}^{\text{исх}} - K_{\text{Al}}$, мг-экв/кг,

где $Щ_{\text{о}}^{\text{исх}}$ — щелочность исходной воды общая, мг-экв/кг.

Если $Щ_{\text{о}}^{\text{исх}} < K_{\text{Al}}$, необходимо производить подщелачивание воды перед ее коагуляцией путем добавления щелочного реагента в количестве

$$\Delta Щ = K_{\text{Al}} - Щ_{\text{о}}^{\text{исх}} + Щ_{\text{ост}}, \text{ мг-экв/кг.}$$

В этом случае принимается $Щ_{\text{ост}} = 0,7$ мг-экв/кг.

Концентрация сульфат-ионов получается равной:

$$C_{\text{SO}_4^{2-}} = C_{\text{SO}_4^{2-}}^{\text{исх}} + 48,03 K_{\text{Al}}, \text{ мг/кг.}$$

Концентрация хлорид-ионов остается равной исходной. Концентрация ионов SiO_3^{2-} после коагуляции уменьшается и становится равной $0,75 C_{\text{SiO}_3^{2-}}^{\text{исх}}$.

Содержание взвешенных веществ после коагуляции в осветлителе, работающем с зашламлением, не превышает 10 мг/кг, а после осветлительных фильтров взвешенные вещества отсутствуют.

б) После коагуляции сернокислым железом, известкования и магниального обескремнивания воды при подогреве ее до 40 °С качество ее характеризуется следующими показателями:

Жесткость воды	мг-экв/кг
Карбонатная	$J_{\text{к}}=0,7$
Некарбонатная	$J_{\text{нк}}=J_{\text{нк}}^{\text{исх}}+K_{\text{Fe}}$
Общая	$J_{\text{о}}=0,7+J_{\text{нк}}^{\text{исх}}+K_{\text{Fe}}$

где K_{Fe} — доза сернокислого железа для коагуляции мг-экв/кг; $J_{\text{ост}}=0,7$ мг-экв/кг.

Концентрация сульфат-ионов получается равной:

$$C_{\text{SO}_4^{2-}} = C_{\text{SO}_4^{2-}}^{\text{исх}} + 48,03 K_{\text{Fe}}, \text{ мг/кг.}$$

Концентрация хлорид-ионов остается без изменений.

Концентрация ионов SiO_3^{2-} после известкования и коагуляции составляет $0,6 C_{\text{SiO}_3^{2-}}^{\text{исх}}$, а после магниального обескремнивания 1 мг/кг.

Б. Качество воды после доумягчения ее методами катионного обмена

Жесткость воды, обработанной по всем шести схемам доумягчения ее методами катионного обмена (см. гл. 9), должна удовлетворять следующим нормам.

Жесткость, мг экв/кг	Давление в эл. генераторах, кгс/см ²
10	40
5	40—100
3	Выше 100

Жесткость воды после первой ступени натрий-катионирования принимается равной 0,1 мг-экв/кг

Концентрация катионов кальция, магния и натрия после Н-катионитных фильтров первой ступени принимается равной 0,2 мг-экв/кг.

Щелочность воды, умягченной по схемам 1—6:

№ схемы	Щелочность мг-экв/кг
1	$\text{Щ}_{\text{сх}}^{\text{исх}} - K_{\text{Al}}$
2, 3 и 4	0,35
5	0,7—1,0
6	1,0—1,3

Сухой остаток воды, обработанной по любой схеме предочистки методами осаждения в сочетании с любой схемой доумягчения ее методами катионного обмена (1—6) с учетом совершающегося в парогенераторах превращения кремниевой кислоты в Na_2SiO_3 и щелочных соединений в едкий натр, определяется по следующей формуле:

$$C.o = 0,25C_{\text{орг}} + 71,04 \frac{C_{\text{SO}_4^{2-}}^{\text{ост}}}{48,03} + 58,45 \frac{C_{\text{Cl}^-}^{\text{ост}}}{35,45} + 85 \frac{C_{\text{NO}_3^-}^{\text{ост}}}{62} + 61 \frac{C_{\text{SiO}_3^{2-}}^{\text{ост}}}{38,03} + 40 \text{Щ}_{\text{ост}}, \text{ мг/кг}, \quad (13 \text{ I})$$

где $C.o$ — сухой остаток, мг/кг; $C_{\text{орг}}$ — концентрация органических веществ в исходной воде, мг/кг; $C_{\text{SO}_4^{2-}}^{\text{ост}}$ —

$C_{\text{Cl}^-}^{\text{ост}}$, $C_{\text{NO}_3^-}^{\text{ост}}$ и $C_{\text{SiO}_3^{2-}}^{\text{ост}}$ — остаточные концентрации соот-

ветствующих анионов в обработанной воде, равные их концентрациям после предочистки, мг/кг; $\text{Щ}_{\text{ост}}$ — остаточная нелетучая натровая щелочность обработанной воды, мг-экв/кг; числа в знаменателях — эквивалентные веса перечисленных анионов; коэффициенты 71,04; 58,45; 85,0; 61,0 и 40,0 — эквивалентные веса соответственно Na_2SO_4 , NaCl , NaNO_3 , Na_2SiO_3 , NaOH .

В. Качество воды после отдельных стадий химического обессоливания и обескремнивания добавочной воды для питания парогенераторов

Кислотность фильтрата после Н-катионитных фильтров первой ступени равна:

$$K = C_{\text{SO}_4^{2-}} + C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{NO}_3^-} + K_{\text{Al}}, \text{ мг-экв/кг},$$

где $C_{\text{SO}_4^{2-}}$, C_{Cl^-} , $C_{\text{NO}_3^-}$ — концентрации анионов сильных кислот, мг-экв/кг, в фильтрате Н-катионитных фильтров первой ступени, численно равные концентрациям их в воде после ее предочистки; K_{Al} — доза сернокислого алюминия для коагуляции воды, мг-экв/кг.

Если в качестве коагулянта применяется сернокислое железо, вместо K_{Al} следует подставить его дозу K_{Fe} .

Кислотность фильтрата после Н-катионитных фильтров второй и третьей ступеней не выше 0,05 мг-экв/кг.

Щелочность воды после анионитных фильтров первой ступени 0,2 мг-экв/кг, после анионитных фильтров второй ступени 0,05 мг-экв/кг.

Концентрация NH_3 после анионитных фильтров третьей ступени не выше 0,2 мг/кг.

Концентрация SiO_2^{2-} после сильноосновных анионитных фильтров не выше 30 мкг/кг.

Остаточная концентрация CO_2 после декарбонизатора от 3 до 10 мг/кг.

Остаточное содержание после схем 7 и 8 частичного обессоливания от 2 до 5 мг/кг, после схем 9 и 10 полного обессоливания соответственно 0,2 и 0,1 мг/кг.

13.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Производительность Q водоподготовительной установки нетто, т. е. без учета расхода воды на собственные нужды самой водоподготовительной установки, можно определить по следующим формулам.

1. Для промышленных ТЭЦ или ГРЭС (КЭС), на которых внутристанционные и внешние потери пара и конденсата, а также потери с продувочной водой восполняются химически смягченной или обессоленной водой:

$$Q = k \left[\alpha' + \alpha'' + (1 - \beta) \frac{P}{100} \right] D_{\text{гп}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-2)$$

2. Для приготовления питательной воды паропреобразователей на ТЭЦ, оборудованных паропреобразовательными установками, снабжающими вторичным паром внешних потребителей и восполняющими внутристанционные потери конденсатом вторичного пара, при условии, что продувка парогенератора p полностью используется в паропреобразователях:

$$Q = k (\alpha' + \alpha'') \left[1 + (1 - \beta') \frac{P'}{100} \right] D_{\text{гп}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-3)$$

3. Для приготовления питательной воды испарителей, восполняющих потери пара и конденсата дистиллированной водой при условии, что продувка парогенератора p полностью используется в испарителях:

$$Q = k(\alpha' + \alpha'') \left(1 + \frac{p''}{100}\right) D_n n, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (13-4)$$

где k — коэффициент запаса, равный 1,1—1,2; D_n — паропроизводительность парогенератора без учета потерь пара и конденсата, $\text{т}/\text{ч}$; n — число парогенераторов, установленных на электростанции; α' и α'' — внутростанционные и внешние потери пара и конденсата в долях величины D_n ; p — величина продувки в процентах D_n [см. формулы (5-24)—(5-31)]; β и β' — доли пара, отсепарированного в расширителе непрерывной продувки парогенераторов и паропреобразователей, от величины последней; p' и p'' — величины продувки паропреобразователей и испарителей в процентах их производительности.

Производительность установок для химического обессоливания воды на блочных паротурбинных электростанциях с барабанными парогенераторами следует принимать по формуле

$$Q = 50 + 0,02 D_n n, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (13-5)$$

а на блочных электростанциях с прямоточными парогенераторами по формуле

$$Q = 100 + 0,02 D_n n, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-6)$$

При подготовке добавочной воды в испарителях для питания парогенераторов блочных ГРЭС необходимо сооружать резервную установку для химического обессоливания воды следующей производительности:

м ³ /ч	ГРЭС
50	С барабанными парогенераторами
75	С прямоточными парогенераторами и блоками 150 Мвт
100	С прямоточными парогенераторами и блоками 200 и 300 Мвт

При проектировании обессоливающих установок для блочных паротурбинных электростанций с барабанными и прямоточными парогенераторами подсобные помещения, коммуникации, насосы и промежуточные емкости

следует принимать с учетом последующего расширения установки на полную мощность.

Производительность водоподготовительной установки, подсчитанная по указанным рекомендациям, не учитывает расхода воды на собственные нужды установки. Поэтому технологический расчет ее необходимо производить «с конца», т. е. в порядке, обратном последовательным стадиям обработки, причем при расчете каждой предыдущей стадии технологического процесса учитывается расход воды на собственные нужды последующей стадии. Последней рассчитывается коагуляционная установка на пропуск полного количества обрабатываемой воды с учетом расхода ее на собственные нужды всех последующих стадий обработки.

13.6. РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ

Расчет осветлительных фильтров выполняется исходя из производительности, учитывающей расход осветленной воды на собственные нужды всех установленных фильтров.

Необходимая площадь фильтрования приблизительно определяется по формуле

$$F' = \frac{Q}{\omega}, \text{ м}^2, \quad (13-7)$$

где Q — производительность фильтров по осветленной воде без учета расхода воды на их собственные нужды, $\text{м}^3/\text{ч}$; ω — скорость фильтрования при нормальном режиме работы фильтров, $\text{м}/\text{ч}$ (табл. 13-1).

Таблица 13-1

Расчетная скорость фильтрования в осветлительных фильтрах

Фильтрующий материал	Диаметр зерна мм	Скорость фильтрования, $\text{м}/\text{ч}$	
		нормальная	максимальная
Антрацит	0,5—1,2	6,0	7,5
Антрацит	0,8—1,8	10,0	12,0
Кварц	0,5—1,2	10,0	12,0

Исходя из соображений эксплуатационной надежности число одновременно работающих фильтров одинакового диаметра принимается не менее трех.

Необходимая площадь фильтрования каждого фильтра определяется по формуле

$$f' = \frac{F'}{n}, \text{ м}^2, \quad (13-8)$$

где n — количество фильтров.

По табл. 13-2 подбирается площадь f серийно выпускаемых заводами фильтров с округлением полученного по формуле (13-8) значения в сторону увеличения ($f > f'$).

Таблица 13-2
Основные размеры стандартных осветлительных фильтров

	Фильтр	Диаметр фильтра мм					
		1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 400
Площадь фильтрования, м ²	Однокаме- рный	0,79	1,77	3,14	5,30	7,10	9,10
	Двухкаме- рный	1,58	3,54	6,28	10,6	14,2	18,2
Высота слоя, м	Однокаме- рный	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
	Двухкаме- рный	900	900	900	900	900	900

Расход воды на взрыхляющую промывку каждого фильтра определяется по формуле

$$q_{\text{взр}} = \frac{f i_{\text{взр}} \cdot 60}{1 000}, \text{ м}^3, \quad (13-9)$$

где f — площадь фильтрования каждого фильтра, м²; i — интенсивность взрыхления фильтра, которая принимается для фильтров, загруженных антрацитом, в пределах 10—12 л/(сек·м²), а для двухслойных фильтров, загруженных кварцевым песком и антрацитом, — в пределах 13—15 л/(сек·м²); $t_{\text{взр}}$ — продолжительность взрыхляющей промывки фильтра, которая принимается для фильтров, загруженных антрацитом, в пределах 5—6 мин, а для двухслойных фильтров, загруженных кварцевым песком и антрацитом, — в пределах 6—7 мин.

Расход воды на отгивку осветлительных фильтров путем спуска в дренаж первого мутного фильтрата со

скоростью 4 м/ч в течение 10 мин определяется по формуле

$$q_{отм} = \frac{\omega t_{отм}}{60}, \text{ м}^3, \quad (13-10)$$

где ω — скорость фильтрования, м/ч; $t_{отм}$ — продолжительность отмывки фильтра, мин.

Часовой расход воды на собственные нужды всех фильтров определяется по формуле

$$q_{\text{ч}} = \frac{(q_{\text{впр}} + q_{\text{отм}}) m \pi}{24}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (13-11)$$

где m — количество отмывок каждого фильтра в сутки, принимается равным 1—3.

Производительность осветлительных фильтров брутто с учетом расхода воды на их собственные нужды определяется по формуле

$$Q_{\text{бр}} = Q + q_{\text{ч}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-12)$$

Действительная скорость фильтрования при работе всех фильтров равна:

$$\omega_n = \frac{Q_{\text{бр}}}{n f}, \text{ м/ч}, \quad (13-13)$$

а во время выключения одного из фильтров на промывку

$$\omega_{n-1} = \frac{Q_{\text{бр}}}{(n-1) f}, \text{ м/ч}. \quad (13-14)$$

Если скорость ω_{n-1} больше максимально допустимой для рассчитываемой группы фильтров, необходимо уменьшить принятое расчетное значение скорости фильтрования при нормальном режиме и уточнить расчет.

Кроме одновременно работающих осветлительных фильтров, на каждую их группу, равную или менее 12 фильтров, устанавливается один дополнительный фильтр такого же диаметра без загрузки его фильтрующим материалом, который используется для гидрорегузки во время ревизии или ремонта одного из фильтров.

Высота фильтрующего слоя принимается по данным табл. 13-2 для стандартных осветлительных фильтров.

Продолжительность полезной работы фильтра T между промывками определяется из уравнения

$$G/h = \frac{G_n Q_{\text{бр}}}{1000 n} (T + t), \text{ кг}, \quad (13-15)$$

где Γ — удельная грязеемкость фильтрующего материала, кг/м^3 (см. табл. 13-3); G_v — концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей на осветлительные фильтры, г/м^3 ; $G_v = 10 \text{ г/м}^3$ для схем водоподготовки с осветлителями, $G_v = B + K_{Al} \mathcal{E}_k (K' + K'')$ для схем водоподготовки без осветлителей; B — концентрация взвешенных веществ в исходной воде, г/м^3 ; K_{Al} — доза коагулянта, г-экв/м^3 ($K_{Al} = 1 \text{ г-экв/м}^3$); $\mathcal{E}_k$ — эквивалентный вес коагулянта; K' — коэффициент, учитывающий количество нерастворимых примесей в коагулянте, равный примерно 0,01; K'' — переводный коэффициент для пересчета $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в $\text{Al}(\text{OH})_3$, равный 0,46; T — продолжительность полезной работы фильтра, ч.

Суточное количество циклов каждого фильтра определяется по формуле

$$m = \frac{24}{T + t}, \quad (13-16)$$

где t — продолжительность операций, связанных с промывкой фильтра, равная 0,5 ч.

Если полученное по этой формуле значение m отличается от принятого в начале расчета, следует пере-
задать им и откорректировать расчет.

Таблица 13-3

Удельная грязеемкость фильтрующих материалов, кг м^3

Фильтрующие материалы	Коагуляция без осветли- теля	Коагуляция с осветли- телем	Без коагули- ции
Антрацит	1,75	1,5	1,0
Кварц или мрамор	1,5	1,25	0,75

13-7. РАСЧЕТ ИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Необходимая площадь фильтрования нагрий-катио-
нитных и водород-катионитных фильтров определяется
по формуле (13-7):

$$F' = \frac{Q}{w}, \text{ м}^2,$$

где Q — производительность фильтров без учета расхода воды на собственные нужды рассчитываемой группы фильтров, $\text{м}^3/\text{ч}$; ω — см. табл. 13-4.

Таблица 13-4

Скорость фильтрования в катионитных фильтрах первой ступени

Жесткость умягчаемой воды мг-экв./л	Скорость фильтрация м/ч
5	25—35
6—10	15—25
10—20	10—20

Расчетная скорость в катионитных фильтрах второй ступени принимается в пределах 40—50 м/ч . Число n одновременно работающих фильтров одинакового диаметра принимается не менее трех исходя из соображений эксплуатационной надежности.

Необходимая площадь фильтрования каждого фильтра определяется по формуле (13-8):

$$f' = \frac{F'}{n}, \text{ м}^2.$$

По табл. 13-5 подбирается площадь f серийно выпускаемых заводами катионитных фильтров с округлением полученного по формуле (13-8) значения f' в сторону увеличения

Таблица 13-5

Основные размеры серийно выпускаемых заводами катионитных фильтров

Диаметр фильтра, мм	1000	1500	2000	2600	3000	3400
Площадь фильтрования, м^2	0,79	1,77	3,14	5,30	7,10	9,10
Высота слоя в фильтрах I ступени, мм	2000	2600	2500	2500	2500	2500
Высота слоя в фильтрах II ступени мм	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Продолжительность фильтроцикла водород- и натрий-катионитных фильтров I ступени, работающих по схемам умягчения и частичного обессоливания воды с проскоком через фильтр всех катионов натрия, т. е.

(Одменная смелость юнгов и удальиный расхвал флегматов на их перевернуто)

Вещество	Гидролиз	Масса нитрата	Средняя температура	Плотность, г/см ³ при 20°	Характеристика	Удельная теплоемкость, ккал/град	Остаточная влажность, %	Примечание
NaNO ₃	Гидролиз	125	10	1,25	NaCl	180	5-6	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂	Гидролиз	450	10	1,14	NaCl	120	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	Гидролиз	100	100	1,00	NaCl	425	5-6	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	Гидролиз	250	250	1,35	NaCl	340	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 8H ₂ O	Гидролиз	300	300	1,40	NaCl	135	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 10H ₂ O	Гидролиз	350	350	1,45	NaCl	110	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 12H ₂ O	Гидролиз	400	400	1,50	NaCl	100	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 14H ₂ O	Гидролиз	450	450	1,55	NaCl	90	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 16H ₂ O	Гидролиз	500	500	1,60	NaCl	80	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 18H ₂ O	Гидролиз	550	550	1,65	NaCl	70	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 20H ₂ O	Гидролиз	600	600	1,70	NaCl	60	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 22H ₂ O	Гидролиз	650	650	1,75	NaCl	50	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 24H ₂ O	Гидролиз	700	700	1,80	NaCl	40	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 26H ₂ O	Гидролиз	750	750	1,85	NaCl	30	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 28H ₂ O	Гидролиз	800	800	1,90	NaCl	20	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 30H ₂ O	Гидролиз	850	850	1,95	NaCl	10	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 32H ₂ O	Гидролиз	900	900	2,00	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 34H ₂ O	Гидролиз	950	950	2,05	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 36H ₂ O	Гидролиз	1000	1000	2,10	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 38H ₂ O	Гидролиз	1050	1050	2,15	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 40H ₂ O	Гидролиз	1100	1100	2,20	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 42H ₂ O	Гидролиз	1150	1150	2,25	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 44H ₂ O	Гидролиз	1200	1200	2,30	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 46H ₂ O	Гидролиз	1250	1250	2,35	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 48H ₂ O	Гидролиз	1300	1300	2,40	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 50H ₂ O	Гидролиз	1350	1350	2,45	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 52H ₂ O	Гидролиз	1400	1400	2,50	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 54H ₂ O	Гидролиз	1450	1450	2,55	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 56H ₂ O	Гидролиз	1500	1500	2,60	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 58H ₂ O	Гидролиз	1550	1550	2,65	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 60H ₂ O	Гидролиз	1600	1600	2,70	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 62H ₂ O	Гидролиз	1650	1650	2,75	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 64H ₂ O	Гидролиз	1700	1700	2,80	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 66H ₂ O	Гидролиз	1750	1750	2,85	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 68H ₂ O	Гидролиз	1800	1800	2,90	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 70H ₂ O	Гидролиз	1850	1850	2,95	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 72H ₂ O	Гидролиз	1900	1900	3,00	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 74H ₂ O	Гидролиз	1950	1950	3,05	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 76H ₂ O	Гидролиз	2000	2000	3,10	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 78H ₂ O	Гидролиз	2050	2050	3,15	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 80H ₂ O	Гидролиз	2100	2100	3,20	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 82H ₂ O	Гидролиз	2150	2150	3,25	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 84H ₂ O	Гидролиз	2200	2200	3,30	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 86H ₂ O	Гидролиз	2250	2250	3,35	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 88H ₂ O	Гидролиз	2300	2300	3,40	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 90H ₂ O	Гидролиз	2350	2350	3,45	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 92H ₂ O	Гидролиз	2400	2400	3,50	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 94H ₂ O	Гидролиз	2450	2450	3,55	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 96H ₂ O	Гидролиз	2500	2500	3,60	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 98H ₂ O	Гидролиз	2550	2550	3,65	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 100H ₂ O	Гидролиз	2600	2600	3,70	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 102H ₂ O	Гидролиз	2650	2650	3,75	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 104H ₂ O	Гидролиз	2700	2700	3,80	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 106H ₂ O	Гидролиз	2750	2750	3,85	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 108H ₂ O	Гидролиз	2800	2800	3,90	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 110H ₂ O	Гидролиз	2850	2850	3,95	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 112H ₂ O	Гидролиз	2900	2900	4,00	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 114H ₂ O	Гидролиз	2950	2950	4,05	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 116H ₂ O	Гидролиз	3000	3000	4,10	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 118H ₂ O	Гидролиз	3050	3050	4,15	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 120H ₂ O	Гидролиз	3100	3100	4,20	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 122H ₂ O	Гидролиз	3150	3150	4,25	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 124H ₂ O	Гидролиз	3200	3200	4,30	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 126H ₂ O	Гидролиз	3250	3250	4,35	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 128H ₂ O	Гидролиз	3300	3300	4,40	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 130H ₂ O	Гидролиз	3350	3350	4,45	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 132H ₂ O	Гидролиз	3400	3400	4,50	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 134H ₂ O	Гидролиз	3450	3450	4,55	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 136H ₂ O	Гидролиз	3500	3500	4,60	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 138H ₂ O	Гидролиз	3550	3550	4,65	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 140H ₂ O	Гидролиз	3600	3600	4,70	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 142H ₂ O	Гидролиз	3650	3650	4,75	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 144H ₂ O	Гидролиз	3700	3700	4,80	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 146H ₂ O	Гидролиз	3750	3750	4,85	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 148H ₂ O	Гидролиз	3800	3800	4,90	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 150H ₂ O	Гидролиз	3850	3850	4,95	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 152H ₂ O	Гидролиз	3900	3900	5,00	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 154H ₂ O	Гидролиз	3950	3950	5,05	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 156H ₂ O	Гидролиз	4000	4000	5,10	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 158H ₂ O	Гидролиз	4050	4050	5,15	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 160H ₂ O	Гидролиз	4100	4100	5,20	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 162H ₂ O	Гидролиз	4150	4150	5,25	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 164H ₂ O	Гидролиз	4200	4200	5,30	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 166H ₂ O	Гидролиз	4250	4250	5,35	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 168H ₂ O	Гидролиз	4300	4300	5,40	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 170H ₂ O	Гидролиз	4350	4350	5,45	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 172H ₂ O	Гидролиз	4400	4400	5,50	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 174H ₂ O	Гидролиз	4450	4450	5,55	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 176H ₂ O	Гидролиз	4500	4500	5,60	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 178H ₂ O	Гидролиз	4550	4550	5,65	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 180H ₂ O	Гидролиз	4600	4600	5,70	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 182H ₂ O	Гидролиз	4650	4650	5,75	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 184H ₂ O	Гидролиз	4700	4700	5,80	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 186H ₂ O	Гидролиз	4750	4750	5,85	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 188H ₂ O	Гидролиз	4800	4800	5,90	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 190H ₂ O	Гидролиз	4850	4850	5,95	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 192H ₂ O	Гидролиз	4900	4900	6,00	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 194H ₂ O	Гидролиз	4950	4950	6,05	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 196H ₂ O	Гидролиз	5000	5000	6,10	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 198H ₂ O	Гидролиз	5050	5050	6,15	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 200H ₂ O	Гидролиз	5100	5100	6,20	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 202H ₂ O	Гидролиз	5150	5150	6,25	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 204H ₂ O	Гидролиз	5200	5200	6,30	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 206H ₂ O	Гидролиз	5250	5250	6,35	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 208H ₂ O	Гидролиз	5300	5300	6,40	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 210H ₂ O	Гидролиз	5350	5350	6,45	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 212H ₂ O	Гидролиз	5400	5400	6,50	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 214H ₂ O	Гидролиз	5450	5450	6,55	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 216H ₂ O	Гидролиз	5500	5500	6,60	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 218H ₂ O	Гидролиз	5550	5550	6,65	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 220H ₂ O	Гидролиз	5600	5600	6,70	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 222H ₂ O	Гидролиз	5650	5650	6,75	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 224H ₂ O	Гидролиз	5700	5700	6,80	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 226H ₂ O	Гидролиз	5750	5750	6,85	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 228H ₂ O	Гидролиз	5800	5800	6,90	NaCl	0	8-10	Остаточная влажность
Ca(NO ₃) ₂ · 230H ₂ O	Гидролиз	5850	5850	6,				

Подожженные табл. 13-6.

[illegible][illegible]

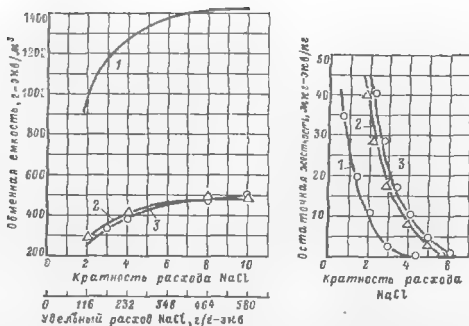


Рис. 13-1. Обменная емкость разных катионитов и остаточная жесткость фильтрата в зависимости от расхода поваренной соли на регенерацию (для условий одноступенчатого Na-катионирования).

1 — КУ-2, 2 — КУ-1, 3 — сульфуголь.

до начала повышения жесткости фильтрата, определяется по формуле

$$T + t = \frac{f h e_{\text{расч}} n}{Q Ж_0}, \text{ ч}, \quad (13-17)$$

где T — полезная продолжительность фильтроцикла от начала работы фильтра до начала его регенерации (для непрерывно работающих установок при ручном управлении задвижками величину T рекомендуется принимать равной 22,5 ч, а при автоматизированном управлении фильтрами — 10,5 ч); t — продолжительность операций, связанных с регенерацией фильтров, равная 1,5 ч; f — сечение фильтра, м^2 ; h — высота слоя катионита, м (см. табл. 13-5); n — число установленных фильтров; Q — производительность рассчитываемой группы фильтров без учета расхода воды на собственные нужды их, $\text{м}^3/\text{ч}$; $Ж_0$ — общая жесткость воды, поступающей на катионитные фильтры, $\text{г-экв}/\text{м}^3$; $e_{\text{расч}}$ — расчетная обменная емкость катионита, $\text{г-экв}/\text{м}^3$, которую можно принять по табл. 13-6 и рис. 13-1—13-5

Если продолжительность фильтроцикла, полученная по формуле (13-17), значительно отличается от рекомен-

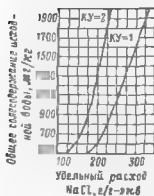


Рис. 13.2. Удельный расход NaCl на регенерацию катионитов при умягчении вод повышенной минерализованности (для фильтров первой ступени Na_1).

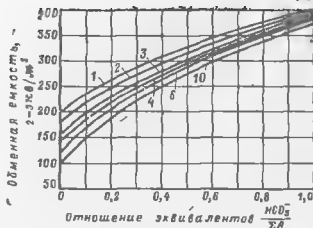


Рис. 13.3. Обменная емкость сульфогеля для H_2 при расходе H_2SO_4 25 кг/м³ катионита.

1, 2, 3, 4, 6, 10 — значения ΣA , мг-экв/кг.

$$\Sigma A = C_{\text{HCO}_3^-} + C_{\text{SO}_4^{2-}} + C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{NO}_3^-}.$$

дусмых значений, следует перезадаваться количеством фильтров n и откорректировать расчет.

Продолжительность фильтроцикла барьерных Na -катионитных фильтров определяется по формуле

$$T + t = \frac{e_{\text{расч}}^{\text{Na}_2} n}{0,1Q}, \text{ ч}, \quad (13-18)$$

где $e_{\text{расч}}^{\text{Na}_2}$ — расчетная обменная емкость катионита, определяемая по табл. 13-6, г-экв/м³; 0,1 — средняя жесткость воды, поступающей на барьерные фильтры, г-экв/м³.

Величина T , полученная по формуле (13-18), составляет не менее 100 ч, так как на барьерные фильтры поступает сравнительно мало катионов кальция и магния, а величина t обычно равна 3 ч вследствие более продолжительной отмывки по сравнению с катионитными фильтрами первой ступени.

Продолжительность фильтроцикла H -катионитного фильтра первой ступени, работающего по схеме полного химического обессоливания воды до проскока ионов нат-

рия, определяется по формуле

$$T + t = \frac{fhe_{\text{расч}}^{H_1} n}{Q \left[K_0 + 2,15 \frac{C_{Na^+}}{23,0} \right]}, \text{ ч.} \quad (13-19)$$

где 2,15 — кратность снижения обменной емкости сульфогля по катионам натрия в сравнении с обменной емкостью по катионам кальция и магния; C_{Na^+} — кон-

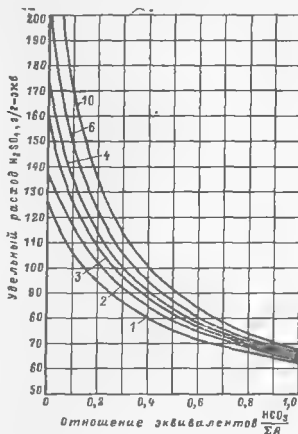


Рис. 13-4 Удельный расход H_2SO_4 на регенерацию H_1 .

1, 2, 3, 4, 6, 10 — значения ΣA , мг-экв/кг;
 $\Sigma A = C_{HCO_3^-} + C_{SO_4^{2-}} + C_{Cl^-} + C_{NO_3^-}$.

центрация ионов натрия в воде, поступающей на Н-катионитные фильтры, мг/кг; $e_{\text{расч}}^{H_1}$ — расчетная обменная емкость Н-катионита, определяемая по рис. 13-3 и 13-5; t — общая продолжительность регенерации фильтра, равная 2,5 ч; T — полезная продолжительность фильтроцикла.

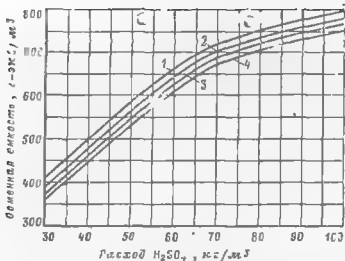


Рис. 13.5 Обменная емкость катионита КУ-2 для H⁺ (при регенерации раствором H₂SO₄ нарастающей концентрации 1,5—2; 3—4 и 7% при расходе H₂SO₄ 60 кг/м³ катионита)

1, 2, 3, 4 — значения ΣК, мг-экв/кг (при любом выщелачивании) соответственно 1, 5, 10, 15

$$\Sigma K = C_{\text{SO}_4} \cdot 2 + C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{NO}_3^-}$$

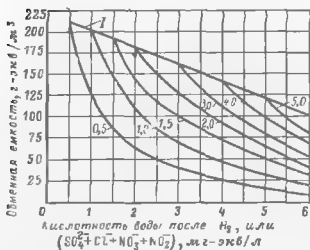


Рис. 13.6 Обменная емкость сульфогеля для H₂ после H₁ до проскока натрия не более 0,2 мг/кг при расходе H₂SO₄ 20 кг/м³ катионита (для H₂, устанавливаемых после анионитных фильтров, емкость берется 250 г-экв/м³)

0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0 — значения остаточной концентрации Na после H₁, мг-экв/кг; 1 — то же, когда в воде присутствуют только нейтральные соли натрия.

Продолжительность фильтроцикла Н-катионитных фильтров второй и третьей ступеней, работающих по схеме полного химического обессоливания воды, определяется по формуле

$$T + t = \frac{f n e_{\text{расч}}^{\text{H}_2}}{\Lambda Q}, \text{ ч.} \quad (13-20)$$

где $e_{\text{расч}}^{\text{H}_2}$ — расчетная обменная емкость Н-катионита, загруженного в фильтры второй ступени, определяемая по табл. 13-6 и рис. 13-6, 13-8 и 13-9; Q — средняя кон-

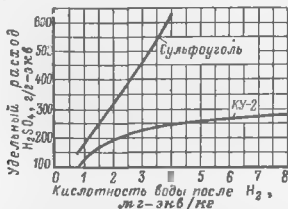


Рис. 13-7. Удельный расход H_2SO_4 на регенерацию H_2 после H_1 до проскока натрия не более 0,1 мг-экв/кг при концентрации натрия после H_1 не более 0,5 мг-экв/кг (для H_2 после анионитных фильтров удельный расход H_2SO_4 для сульфогля и КУ-2 принимается 100 г/г-экв).

центрация катионов в воде, поступающей на фильтры второй ступени, $\Lambda \approx 0,2$ г-экв/м³, t — продолжительность регенерации фильтра, равная 3 ч.

При выборе катионитов рекомендуется:

1) для схем с одноступенчатым и двухступенчатым Na-катионированием применять сульфогля;

2) для схем с Н-катионированием при содержании в обрабатываемой воде катионов натрия не выше 0,5 мг экв/кг и при суммарной концентрации анионов сильных кислот не выше 0,7 мг-экв/кг применять одноступенчатое Н-катионирование, а при суммарной концентрации анионов сильных кислот 0,7–2,0 мг экв/кг —

ступенчато-противоточное Н-катионирование с применением в качестве катионита сульфогля;

3) при содержании катионов натрия в воде выше 1,0 мг-экв/кг и суммарной концентрации анионов сильных кислот от 2 до 5 мг-экв/кг применять схемы ступенчато-противоточного Н-катионирования с использованием в качестве катионита в фильтрах первой ступени сульфогля, а в фильтрах второй ступени — катионита КУ-2;

4) если суммарная концентрация анионов сильных кислот в обрабатываемой воде превышает 5 мг-экв/кг, то независимо от содержания в ней катионов натрия

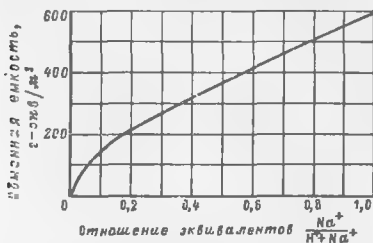


Рис. 13-8. Обменная емкость катионита КУ-2 для H_2 после H_1 и после проскака натрия менее 0,05 мг-экв/кг при расходе H_2SO_4 60 кг/м³ катионита (для всех схем обессоливания, где H_2 устанавливаются после анионитных фильтров, обменная емкость принимается 400 г-экв/м³).

применять ступенчато-противоточное Н-катионирование с использованием катионита КУ-2 в фильтрах первой и второй ступеней.

Продолжительность фильтроцикла слабоосновных анионитных фильтров, загруженных анионитом АП-31, при полном химическом обессоливания воды определяется по формуле

$$T + t = \frac{f h n e A_{1, \text{пл.ч}}}{Q A_1}, \text{ ч.} \quad (13-21)$$

где $A_1 = C_{SO_4} + C_{Cl} + C_{NO_3}$ — концентрация анионов сильных кислот в воде, поступающей на слабоосновные

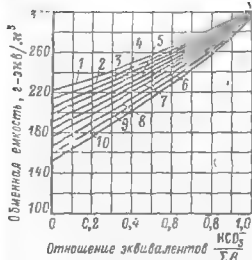


Рис. 13-9. Обменная емкость сульфугля для противоточного водород катионирования первой ступени (H_0) и для ступенчато-противоточного водород катионирования ($H_{сн}$) при расходе H_2SO_4 15 кг/м³ катионита. Для H_0 обменная емкость принимается на 20% меньше значений, указанных на рисунке, а для $H_{сн}$ на 20% меньше соответствующей емкости H_0 при том же расходе кислоты.

1—10 — значения суммы анионов ΣA в воде, поступающей на фильтры, мг-экв/кг.

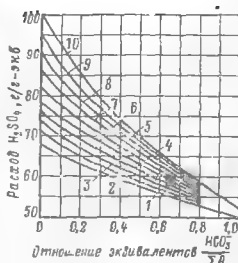


Рис. 13-10. Удельный расход H_2SO_4 на регенерацию сульфугля для H_0 при расходе H_2SO_4 15 кг/м³ (для $H_{сн}$ удельный расход принимается на 20% больше соответствующих значений для H_0 при том же абсолютном расходе кислоты). 1—10 — значения ΣA , мг-экв/кг, относятся к воде перед H_0 .

анионитные фильтры, г-экв/м³; $e_{расч}^{A_2}$ — расчетная обменная емкость анионита АН-31, определяемая по графику на рис. 13-11.

Продолжительность фильтроцикла сильноосновных анионитных фильтров с применением анионита АВ-17 8 при поглощении анионов всех кислот рекомендуется определять по формуле

$$T + t = \frac{[hnc]_{расч}^{A_2}}{Q A_2}, \text{ ч.} \quad (13-22)$$

где $A_2 = C_{Ca^{2+}} + C_{Cl^-} + C_{NO_3^-} + C_{H_2PO_4^-} + C_{HCO_3^-}$ — концентрация анионов всех кислот в воде, поступающей на сильноосновные анионитные фильтры, г-экв/м³; $e_{расч}^{A_2}$ —

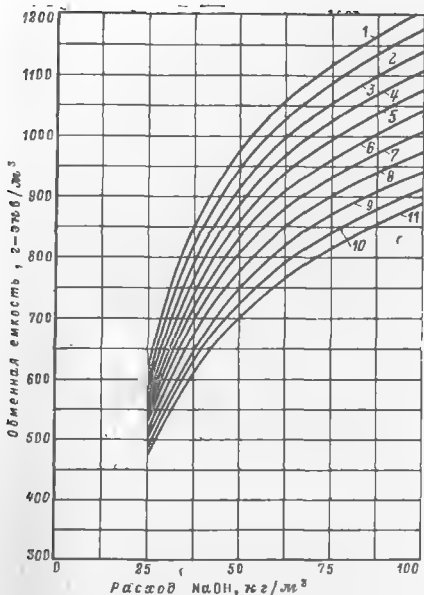


Рис. 13-11. Обменная емкость анионита АН-31 по $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ (при общей концентрации 0,5—10 мг-экв/кг и различных соотношениях кислот). Значения для расчета берутся при NaOH 50 кг/м³ анионита.

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 — соотношение H_2SO_4 и HCl , %, соответственно 100 и 0, 90 и 10, 80 и 20, 70 и 30, 60 и 40, 60 и 50, 40 и 60, 30 и 70, 20 и 80, 10 и 90, 0 и 100.

обменная емкость анионита АВ-17-8, определяемая по рис 13-12.

Продолжительность фильтроцикла сильноосновных анионитных фильтров с применением анионита АВ-17-8 только для обескремнивания воды (развернутая схема полного химического обессоливания и обескремнивания

воды) определяется по формуле

$$T + t = \frac{[hne_{\text{расч}}^{\text{HSiO}_3^-}]}{Q[C_{\text{HSiO}_3^-} + C_{\text{HCO}_3^-}]} \cdot \eta, \quad (13-23)$$

где $C_{\text{HSiO}_3^-} + C_{\text{HCO}_3^-}$ — концентрации анионов HSiO_3^- и HCO_3^- в поступающей на фильтр декарбонизированной воде, г-экв/м³; $e_{\text{расч}}^{\text{HSiO}_3^-}$ — обменная емкость анионита АВ-17-8 по иону HSiO_3^- для A_2 при обескремнивании воды, определяемая по рис. 13-13; t — продолжительность регенерации фильтра, равная 3 ч. Продолжитель-

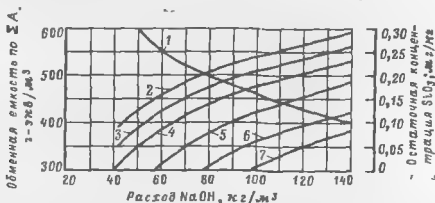


Рис. 13-12 Обменная емкость анионита АВ-17-8 для A_2 при поглощении анионов всех кислот, значения берутся при расходе NaOH 80 кг/м³ анионита.

1 — остаточная концентрация SiO_2 , мг/л; 2, 3, 4, 5, 6, 7 — отношение эквивалентов $\text{HSiO}_3^-/\Sigma A$ соответственно 0,02, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4.

ность фильтроцикла ФСД, загруженных на 50% катионитом КУ-2 и на 50% анионитом АВ-17-8, условно принимают с учетом, что ФСД регенерируются после пропускания 10 000 м³ воды через 1 м³ смеси ионитов, пользуясь формулой

$$T + t = \frac{10\,000 f h n}{Q}, \quad \text{ч.} \quad (13-24)$$

Объем ионитовых материалов (сульфоугля, ионитовых смол), загруженных в фильтры во влажном состоянии, определяется по формуле

$$V_{\text{вд}} = f h n, \quad \text{м}^3, \quad (13-25)$$

где f — поперечное сечение фильтра, м^2 , h — высота слоя ионита, м , n — число фильтров

Объем воздушно-сухого ионита

$$V_{\text{сух}} = \frac{V_{\text{пл}}}{k}, \text{ м}^3, \quad (13-26)$$

где k — коэффициент набухания (см. табл. 9-1 и 9-2).

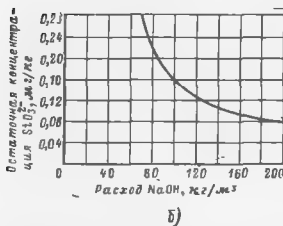
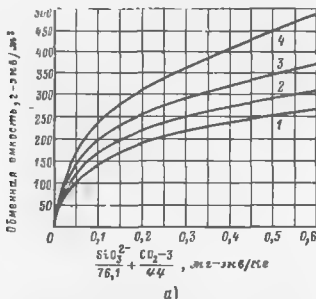


Рис. 13.13 Обменная емкость ионита АВ-178 по иону HSiO_3^{2-} для Λ_2 при обескремнивании воды (при условии остаточной концентрации SiO_3^{2-} не более $0,15 \text{ мг/кг}$) и остаточная концентрация SiO_3^{2-} в фильтрате.

а — кремнеемкость; 1, 2, 3, 4 — расход NaOH , кг/м^3 ионита соответственно 100, 150, 200, 300;
б — остаточная концентрация SiO_3^{2-} в фильтрате,

Весовое количество воздушно-сухого ионита, необходимое для загрузки фильтров, определяется по формуле

$$G = V_{\text{сух}} \rho_{\text{сух}}, \quad \text{т}, \quad (13-27)$$

где $\rho_{\text{сух}}$ — насыпной вес воздушно-сухого ионита, т/м^3 .

Определение расхода реагентов для регенерации ионитных фильтров. Суточное число регенераций одного

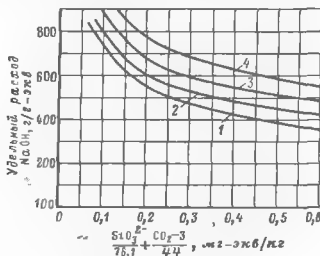


Рис. 13-14. Удельный расход NaOH на регенерацию ионита АВ-17-8 в A_2 при обескремнивании воды.

1, 2, 3, 4 — остаточная концентрация SiO_2^2 в фильтрате, мг/кг , соответственно 0,16, 0,12, 0,10; 0,08 при расходе NaOH, кг/м^3 , 100, 120, 150, 200.

фильтра составляет $m = 24 / (T + 1)$, ε всех фильтров данной группы $n_c = m n$.

Суточный расход поваренной соли на регенерацию Na-катионитных фильтров определяется по формуле

$$G_{\text{NaCl}} = \frac{f h e_{\text{расч}}^{\text{Na}} n_0}{10^6} b_c, \quad \text{т/сутки}, \quad (13-28)$$

где b_c — удельный расход NaCl, г/г-экв (принимается по табл. 13-6 и рис. 13-2).

Суточный расход 100%-ной серной кислоты на регенерацию H-катионитных фильтров определяется по формуле

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{100} = \frac{f h e_{\text{расч}}^{\text{H}} n_0}{10^6} b_n, \quad \text{т/сутки}, \quad (13-29)$$

где b_n — удельный расход H_2SO_4 , г/г-экв (принимается по табл. 13-6 и рис. 13-4, 13-5, 13-7 и 13-10).

Суточный расход 100%-ного едкого натра на регенерацию анионитных фильтров можно определить по формуле

$$G_{\text{NaOH}}^{100} = \frac{f h c_{\text{расч}}^A n_0}{10^3} b_{\text{уд.}} \text{ т/сутки}, \quad (13.30)$$

где $b_{\text{уд.}}$ — удельный расход NaOH , г/г-экв, принимаемый по табл. 13.6 и по рис. 13.11, 13.12 и 13.14.

Суточный расход концентрированных растворов H_2SO_4 и NaOH в объемном выражении определяется по формуле

$$V = \frac{G^{100}}{C_p} \frac{100}{\rho}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (13.31)$$

где C и ρ — концентрация и плотность технических растворов H_2SO_4 и NaOH при 20°C , а именно:

Раствор	Концентрация %	Плотность, т/л
Башенная H_2SO_4	75	1,67
Камерная H_2SO_4	65	1,55
Раствор NaOH	42	1,45

Полученные по формулам (13.28) — (13.31) суточные расходы реагентов для регенерации фильтров используются для расчета мерников и устройств для приготовления регенерирующих растворов и подачи их к регенерируемым фильтрам, а также для определения емкости и площади реагентных складов, обеспечивающих приемку 30-суточной или квартальной потребности всех реагентов.

Необходимую площадь складских помещений для размещения сыпучих реагентов (поваренная соль, коагулянты, известь и др.) можно определить по формуле

$$F_{\text{скл}} = \frac{G^{100} n}{k \rho h} \cdot \text{м}^2. \quad (13.32)$$

где $F_{\text{скл}}$ — площадь склада, необходимая для размещения данного реагента, м^2 ; G — суточный расход реагента, т/сутки; ρ — насыпной вес реагента, т/м³; n — число суток, на которое рассчитывается запас реагента (обычно не меньше 30); h — высота ячейки для реагентов; k — доля активного вещества в реагенте.

Если реагент поставляется на установку в стальных барабанах (например, едкий натр в твердом виде), то

необходимая площадь для их размещения определяется по формуле

$$F_{\text{скл}} = mf = \frac{G^{100}nf}{G_0k}, \text{ м}^2. \quad (13-33)$$

где G^{100} — суточная потребность в 100%-ном реагенте, кг/сутки ; G_0 — вес стальных барабанов с реагентом (100 или 200 кг); k — доля активного вещества в реагенте, выпускаемом для продажи (для NaOH она равна 0,92 или 0,95 в зависимости от сорта); f — площадь для размещения одного барабана, равная 0,25–0,3 м^2 ; m — число барабанов.

Расход воды на собственные нужды данной группы ионитных фильтров складывается из следующих расходов: на приготовление регенерирующих растворов, на взрыхление ионитов и отмывку ионитов от продуктов регенерации и избытка регенерирующих реагентов.

Суточный расход воды Q_1 для приготовления регенерационного раствора можно определить по формуле

$$Q_1 = \frac{G^{100} \cdot 100}{C}, \text{ м}^3/\text{сутки}. \quad (13-34)$$

где G^{100} — суточный расход 100%-ного реагента, т/сутки ; C — концентрация регенерационного раствора, %.

Суточный расход воды Q_2 на взрыхление ионита вычисляется по формуле

$$Q_2 = \frac{fitn_c \cdot 60}{1000}, \text{ м}^3/\text{сутки}. \quad (13-35)$$

где i — интенсивность взрыхления, $\text{л}/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$; для сульфугольных фильтров I ступени $i = 2,8 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$; для сульфугольных фильтров II ступени $i = 3,0 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$; t — продолжительность взрыхления, равная 12–15 мин.

Суточный расход воды на отмывку ионита от продуктов регенерации и избытка регенерирующего реагента определяется по формуле

$$Q_3 = [an]_c, \text{ м}^3/\text{сутки}, \quad (13-36)$$

где a — удельный расход воды на отмывку ионита от продуктов регенерации (для катионитов $a = 4 \div 5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ катионита; для анионитов $8 \div 10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ анионита, а при последовательной и одновременной отмывке фильтров I и II ступеней — $6 \div 7 \text{ м}^3/\text{м}^3$).

Часовой расход воды на собственные нужды рассчитываемой группы ионитных фильтров определяется по формуле

$$q_4 = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{24}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-37)$$

В тех случаях, когда отмывочная вода используется для приготовления регенерирующих растворов и взрыхления ионитов, в качестве расхода на собственные нужды учитывается только расход воды на отмывку ионитов, так как отмывочной воды обычно хватает для приготовления регенерирующих растворов и взрыхления ионитов.

Суммарный часовой расход воды, который должен быть подан на рассчитываемую группу ионитных фильтров, равен:

$$Q_{\text{бр}} = Q + q_4, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-38)$$

13-8. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ДЕКАРБОНИЗАТОРОВ

В результате расчета должны быть определены площадь поперечного сечения и диаметр декарбонизатора, необходимая поверхность и высота насадки в декарбонизаторе, производительность и напор вентилятора.

При проектировании декарбонизаторов следует исходить из следующих заданных параметров: расхода воды, поступающей в декарбонизатор; концентрации свободной углекислоты в воде перед декарбонизатором; желательной концентрации свободной углекислоты в воде после декарбонизатора и наиминишей температуры обрабатываемой воды.

Концентрация свободной углекислоты в воде, поступающей в декарбонизатор, не всегда указывается в анализе. В этом случае при декарбонизации после Н-катионитных фильтров ее можно определить по формуле

$$C_{\text{вх}} = 44J_{\text{к}} + C_{\text{нвч}}, \text{ мг/кг}, \quad (13-39)$$

где $C_{\text{вх}}$ — концентрация свободной CO_2 на входе в декарбонизатор, мг/кг; $J_{\text{к}}$ — карбонатная жесткость после предочистки перед ионитными фильтрами, мг-экв/кг; $C_{\text{нвч}}$ — концентрация свободной CO_2 в исходной воде, которая ориентировочно может быть принята равной:

$$C_{\text{нвч}} = 0,268 (J_{\text{к}})^3, \text{ мг/кг}. \quad (13-40)$$

Расчет декарбонизаторов с деревянной хордовой насадкой. Площадь поперечного сечения и, следовательно,

диаметр декарбонизатора определяются по оптимальной плотности орошения насадки, равной $40 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Определение расхода воздуха и подбор вентилятора производятся по удельному расходу воздуха $20 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Необходимая площадь поверхности десорбции в декарбонизаторе для достижения заданного эффекта удаления свободной углекислоты может быть найдена по уравнению десорбции

$$F_{\text{дес}} = \frac{G}{K_{\text{ж}} \Delta C_{\text{ср}}}, \text{ м}^2, \quad (13-41)$$

где G — количество свободной углекислоты, подлежащей удалению, $\text{кг}/\text{ч}$, определяемое по формуле

$$G = \frac{Q_{\text{ч}} (C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}})}{1000}, \text{ кг}/\text{ч}, \quad (13-42)$$

где $Q_{\text{ч}}$ — расход воды, поступающей в декарбонизатор, $\text{м}^3/\text{ч}$; $C_{\text{вх}}$ — концентрация свободной углекислоты в воде на входе в декарбонизатор, определяемая по формуле (13-39); $C_{\text{вых}}$ — концентрация свободной углекислоты в воде на выходе из декарбонизатора, которой обычно задаются, принимая ее равной $3-10 \text{ мг}/\text{кг}$ CO_2 ; $K_{\text{ж}}$ — коэффициент десорбции или массопередачи, т. е. количество газа, передаваемого в единицу времени через единицу поверхности, при движущей силе процесса десорбции, равной единице, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$; величину $K_{\text{ж}}$ следует определять по графику (рис. 13-15) в зависимости от температуры воды.

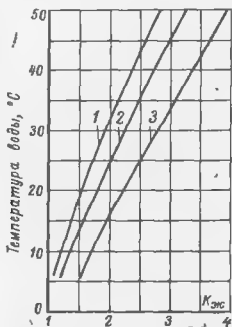


Рис. 13-15. График для определения величины коэффициента десорбции $K_{\text{ж}}$ в зависимости от температуры воды для плотности орошения насадки в декарбонизаторе $40 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (по данным ВОДГЕО).

1 — для производительности декарбонизаторов до $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, 2 — то же $40-150 \text{ м}^3/\text{ч}$, 3 — то же $150-400 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Величину $\Delta C_{\text{ср}}$ — среднюю движущую силу процесса десорбции, зависящую от перепада концентраций CO_2 в воде и омывающем ее воздухе, нагнетаемом вентилятором, следует определять по

графику, приведенному на рис. 13-16.

Кроме площади щитов насадки, следует учитывать площадь внутренней поверхности самого декарбонизатора, так как она является также поверхностью соприкосновения воды, стекаемой тонкой пленкой, и омывающего ее воздуха. Величина ее составляет около 7,5% поверхности насадки. Необходимую площадь поверхности насадки можно определить по формуле

$$F_{\text{нас}} = (1 - 0,075) F_{\text{дег.}} \quad (13-43)$$

Количество щитов насадки определяется по формуле

$$n = \frac{F_{\text{нво}}}{f_{\text{щ}}}, \quad (13-44)$$

где $f_{\text{щ}}$ — площадь поверхности щита, подсчитанная для декарбонизаторов различной производительности и приведенная в справочниках.

Высота насадки может быть определена по формуле

$$H_n = 2n(h + \delta) - h, \quad (13-45)$$

где H_n — часть высоты декарбонизатора, занятая насадкой, мм; n — количество щитов; h — расстояние между рядами досок и между щитами, мм; δ — толщина досок насадки, мм.

Производительность вентилятора определяется исходя из необходимого расхода воздуха для заданного расхода воды с учетом производительностей вентиляторов, имеющихся в каталоге. Напор декарбонизируемой воды, создаваемый вентилятором, должен преодолеть суммарную потерю напора на всем пути движения воздуха от вентилятора до выхода воздуха в атмосферу. Сопротивление смачиваемой деревянной хордовой на-

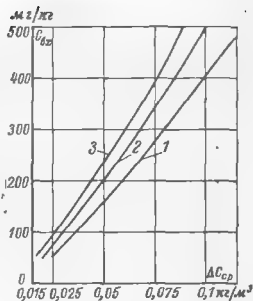


Рис. 13-16. Зависимость $\Delta C_{\text{сер}}$ от $C_{\text{вх}}$ при различных значениях $C_{\text{вых}}$ (по данным ВОДГЕО).
1 — $C_{\text{вых}} = 3$ мг/кг; 2 — $C_{\text{вых}} = 5$ мг/кг;
3 — $C_{\text{вых}} = 10$ мг/кг.

сводки движению воздуха при орошении насадки $40 \text{ м}^3/\text{ч}^2$ можно принимать равным примерно 10 мм вод. ст. на 1 м высоты декарбонизатора, занятого насадкой. Сопротивление распределительной плиты при той же плотности орошения также равно примерно 10 мм вод. ст.

Расчет декарбонизаторов с насадкой из колец Рашига. Площадь поперечного сечения декарбонизатора с насадкой из колец Рашига размером $25 \times 25 \times 3 \text{ мм}$ следует

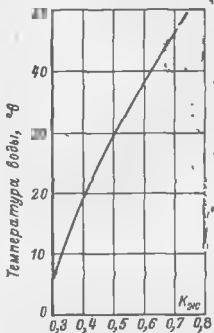


Рис. 13.17. Зависимость коэффициента десорбции $K_{\text{ж}}$ от температуры воды для декарбонизаторов, загруженных кольцами Рашига при плотности орошения насадки $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (по данным ВОДГЕО).

определять, исходя из плотности орошения насадки $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Удельный расход воздуха принимается в этом случае равным $15 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Необходимая площадь поверхности насадки определяется по формуле (13-43), а величину $K_{\text{ж}}$ для этого случая следует принимать по графику, приведенному на рис. 13-17. По найденной площади поверхности насадки можно определить высоту слоя колец в декарбонизаторе, приняв площадь поверхности 1 м^2 колец Рашига указанного выше размера равной 204 м^2 .

При определении напора, развиваемого вентилятором, сопротивление колец Рашига при указанных выше размерах колец, плотности орошения и удельном расходе воздуха принимается равным 30 мм вод. ст. на 1 м высоты насадки.

Емкость промежуточного бака под декарбонизатором следует принимать равной примерно 25% полезной производительности установки, но не меньше 25 м^3 . Если из этого бака производится забор воды на собственные нужды установки, то емкость его должна быть увеличена, чтобы был запас воды хотя бы на отмывку фильтра, который отмывается декарбонизированной водой (примерно $10fh$, где f и h — площадь фильтрования и высота загрузки аннонита).

13-9 ОСНОВЫ РАСЧЕТА КОАГУЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Коагуляционная установка обычно состоит из гидравлической мешалки для приготовления раствора коагулянта и устройств для дозирования раствора реагентов и осветлителей типа ЦНИИ-2.

При расчете коагуляции природных вод центральной полосы СССР максимальная доза сернокислого алюминия для периода весеннего паводка принимается равной 1,0 мг-экв/кг, а доза сернокислого железа 0,7 мг-экв/кг. Для северной полосы СССР дозы коагулянтов принимаются несколько меньшими, а для южной полосы СССР — несколько большими приведенных.

Для полноты протекания гидролиза коагулянта необходимо поддержание в растворе определенной концентрации водородных ионов, что достигается автоматически при высокой концентрации НСО_3^- в исходной воде. Когда же эта концентрация недостаточна (при малой карбонатной жесткости, а также у большинства вод в период паводка), для поддержания оптимальных значений pH необходимо подщелачивание воды.

Необходимость подщелачивания воды при коагуляции и доза щелочи определяются по формуле

$$\Delta \text{Щ} = K - \text{Щ}_0 + \text{Щ}_{\text{ост}}, \quad (13-46)$$

где $\Delta \text{Щ}$ — доза щелочи, мг-экв/кг; K — доза коагулянта, мг-экв/кг; Щ_0 — общая щелочность коагулируемой воды, мг-экв/кг; $\text{Щ}_{\text{ост}}$ — остаточная щелочность коагулированной воды, которая принимается в пределах 0,3—0,5 мг-экв/кг.

Потребный часовой расход растворов коагулянта и щелочи определяется по формулам:

$$V_k = \frac{Q K \text{Э}_k \cdot 100}{1000 C_k \rho_k}, \quad \text{л/ч}; \quad (13-47)$$

$$V_{\text{щ}} = \frac{Q \Delta \text{Щ} \text{Э}_{\text{щ}} \cdot 100}{1000 C_{\text{щ}} \rho_{\text{щ}}}, \quad \text{л/ч}, \quad (13-48)$$

где Q — производительность коагуляционной установки, м³/ч; K — доза коагулянта, г-экв/м³; $\Delta \text{Щ}$ — доза щелочи, г-экв/м³; Э_k — эквивалентный вес безводного коагулянта, г/г-экв; $\text{Э}_{\text{щ}}$ — эквивалентный вес безводной щелочи, г/г-экв; C_k и $C_{\text{щ}}$ — крепости раствора коагулянта и щелочи, %; ρ_k и $\rho_{\text{щ}}$ — плотности растворов коагулянта и щелочи, кг/л.

При принятых в настоящее время способах дозирования с помощью насосов-дозаторов оптимальная крепость растворов коагулянта и щелочи составляет 5—10% в пересчете на безводное вещество.

На каждый реагент устанавливаются по два расходных бака раствора реагента для дозирования с помощью плунжерных насосов-дозаторов. Каждый из них должен иметь такую емкость, чтобы при крепости реагентного раствора в пределах 5—10% перезарядка их осуществлялась 1 раз в течение суток или не чаще чем 1 раз за 8 ч. Емкости бачков можно определить по формулам:

$$V_{\text{в}}^{\text{н}} = \frac{V_{\text{н}} \cdot 24}{1000 m_{\text{в}}} \cdot M^{\text{н}}; \quad (13-49)$$

$$V_{\text{в}}^{\text{щ}} = \frac{V_{\text{щ}} \cdot 24}{1000 m_{\text{в}}} \cdot M^{\text{щ}}; \quad (13-50)$$

где $m_{\text{в}}$ — число перезарядок баков в течение суток

Гидравлические мешалки для приготовления и перемешивания растворов легкорастворимых и непрерывно дозируемых реагентов устанавливаются по одной на каждый реагент. Емкость их при всех системах дозаторов рассчитывается примерно на возможность однократной зарядки двух указанных выше расходных баков.

Плунжерные насосы-дозаторы выбираются по часовому расходу раствора реагентов, вычисленному по формулам (13-47) и (13-48). При значительных расхождениях часового расхода растворов и производительности насосов-дозаторов следует пересчитать крепость раствора и уточнить расчет.

13-10. ОСНОВЫ РАСЧЕТА УСТАНОВКИ ДЛЯ МАГНЕЗИАЛЬНОГО ОБЕСКРЕМНИВАНИЯ ВОДЫ

Магнeзиальное обескремнивание воды обычно проводится в осветлителях типа ЦНИИ-1-А и сочетается с известкованием и коагуляцией воды. В качестве магнeзиальных реагентов применяется каустический магнезит. Расход каустического магнезита определяется из расчета 15 г MgO на удаление из воды каждого грамма SiO_3^{2-} . При этом необходимо учитывать и гидрат окиси магния, образующийся в результате взаимодействия солей магния, содержащихся в воде, с известью. Часовой расход каустического магнезита или доломита и извести

на обескремнивание и полупное умягчение воды определяется по следующим формулам.

$$G_{\text{к.м}} = \frac{[15C_{\text{SiO}_2} - 20,16Ж_{\text{Mg}}] Q \cdot 100}{C_{\text{MgO}}^{\text{к.м}} 1000}, \text{ кг/ч; } (13-51)$$

$$G_{\text{CaO}} = \frac{28(Ж_{\text{к}} + Ж_{\text{Mg}} + C_{\text{Fe}} + C_{\text{CO}_2} + K + 0,35) Q \cdot 100}{C_{\text{CaO}}^{\text{изв}} 1000} - \\ - \frac{G_{\text{к.м}} C_{\text{CaO}}^{\text{к.м}}}{100}, \text{ кг/ч, } (13-52)$$

где C_{SiO_2} — концентрация SiO_2 в обрабатываемой воде,

г/л; 20,16 — эквивалентный вес окиси магния; $C_{\text{MgO}}^{\text{к.м}}$ — содержание окиси магния в каустическом магнезите, %; $C_{\text{CaO}}^{\text{к.м}}$ — содержание окиси кальция в каустическом магнезите, %; $C_{\text{CaO}}^{\text{изв}}$ — содержание окиси кальция в негашеной извести, %.

Дозирование каустического магнезита в осветлитель может осуществляться с помощью шнековых дозаторов, рассчитанных на максимальную подачу 26, 35, 70, 100 и 200 кг сухого каустического магнезита в час, а также с помощью насосов-дозаторов или гидрозлеваторов (эжекторов). На установках большой производительности (свыше 200—400 м³/ч) ставятся два дозатора на каждый осветлитель (один — рабочий, другой — резервный).

Механизированные аппараты для гашения извести (МИК, известегасители) подбираются по каталогам машиностроительных заводов соответственно расходу реагентов и устанавливаются в количестве 1—2 шт. в зависимости от мощности и графика работы установки.

13-11. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ОСВЕТИТЕЛЕЙ

Осветлители, включаемые в схемы предварительной обработки воды, рекомендуется рассчитывать на 1,25 полной производительности установки Q; при этом рекомендуется устанавливать не меньше двух осветлителей.

Емкость каждого из двух осветлителей определяется по формуле

$$V_{\text{осв}} = \frac{1,25Q\tau}{2}, \text{ м}^3, \quad (13-53)$$

где Q — полная производительность всей устаноки, $\text{м}^3/\text{ч}$; τ — продолжительность пребывания воды в осветлителе (при температуре обрабатываемой воды 40°C величина τ принимается равной 1—1,5 ч).

По величине $V_{\text{осв}}$ выбирается по справочникам ближайший по емкости осветлитель, серийно выпускаемый нашей промышленностью.

При отсутствии подходящего по емкости серийно выпускаемого осветлителя производится его конструктивный расчет.

Расчет основных элементов осветлителя производится по полной производительности осветлителя Q_0 с принятием рекомендуемых скоростей движения воды.

Полная производительность осветлителя

$$Q_0 = Q_n + q_{\text{пр}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (13-54)$$

складывается из полезной производительности Q_n и расхода воды на непрерывную продувку его $q_{\text{пр}}$;

$$Q_n = \frac{1,25Q}{2}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (13-55)$$

где Q — количество осветленной воды, поступающей из осветлителей на последующую обработку; 1,25 — коэффициент запаса; 2 — количество осветлителей;

$$q_{\text{пр}} = \frac{k_{\text{ш}}}{1000} Q_0 \frac{100}{5} = \frac{k_{\text{ш}}}{50} Q_0, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (13-56)$$

$k_{\text{ш}}$ — количество шлама, выделившегося из обрабатываемой воды, $\text{кг}/\text{м}^3$; 5% — концентрация шлама по аесу в аоде, удаляемой непрерывной продувкой.

Величину $k_{\text{ш}}$ можно определить из уравнения

$$1000k_{\text{ш}} = 2,5(C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Ca}^{2+}}^{\text{н.в.}} + C_{\text{Mg}^{2+}} - 17,36J_0^{\text{ост}}) + B + M + K(k_1 + k_2), \text{ кг}/\text{м}^3, \quad (13-57)$$

где $C_{\text{Ca}^{2+}}$ — концентрация кальция в умягчаемой воде, $\text{г}/\text{м}^3$;

$C_{\text{Ca}^{2+}}^{\text{н.в.}}$ — количество кальция, $\text{г}/\text{м}^3$, введенного в умягчаемую воду в виде известкового молока;

C_{M+} — содержание магния в умягченной воде, $г/м^3$;
 17,36 — условное суммарное содержание кальция и магния в умягченной воде на 1 мг-экв/кг остаточной жесткости ($Ж_0^{ост}$);

B — количество взвешенных веществ в обрабатываемой воде, $г/м^3$;

M — количество механических примесей, попадающих а осветлитель вместе с известковым молоком, $г/м^3$;

K — доза безводного коагулянта, $г/м^3$;

k_1 — коэффициент содержания нерастворяемых примесей в коагулянте (0,08 для очищенного и 0,69 для неочищенного глинозема, 0,1 — для сернокислого закисного железа);

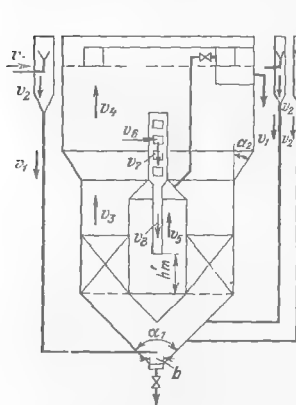


Рис. 13-18 Принципиальная схема осветлителя ЦИИИ-1 с указанием скоростей движения воды.

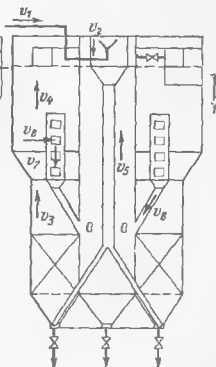


Рис. 13-19 Принципиальная схема осветлителя ЦИИИ-2 с указанием скоростей движения воды.

k_2 — переводный коэффициент образования гидрооксидов, равный 0,46 для $Al_2(SO_4)_3 \rightarrow Al(OH)_3$ и 0,7 для $FeSO_4 \rightarrow Fe(OH)_3$.

На рис. 13-18 и 13-19 приведены принципиальные схемы осветлителей ЦНИИ-1 и ЦНИИ-2 с обозначением основных скоростей движения воды, необходимых для расчета, а в табл. 13-7 приведены численные значения этих скоростей.

Таблица 13-7

Скорости движения основных потоков воды в осветлителях, мм/сек

тип осветлителя	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8
ЦНИИ-1	1 000	28,0	2,5*—3,5**	1,25*—1,5**	0,8	15,0	8,0	28,0
ЦНИИ-2	1 000	28,0	2,0	1,0	0,8	10,0	2,0	20,0

* При $Ж_{МБ} \leq 0,5 Ж_0$ и при $Ж_{МБ} > 0,5 Ж_0$ с применением коагулянта

** При $Ж_{МБ} \leq 0,25 Ж_0$

Порядок расчета осветлителей следующий:

1. Диаметр трубопровода d_1 к воздухоотделителю и от воздухоотделителя и осветлителю определяется из уравнения

$$Q_0 = \frac{\pi d_1^2}{4} v_1 \frac{3600}{1000} = 3,6 \frac{\pi d_1^2}{4} v_1, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (13-58)$$

2. Диаметр воздухоотделителя d_2 определяется из уравнения

$$Q_0 = 3,6 \frac{\pi d_2^2}{4} v_2, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-59)$$

3. Диаметр шламоотводных труб d_7 определяется из уравнения

$$q_0 = 3,6 \frac{\pi d_7^2}{4} v_7 n, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-60)$$

где n — количество шламоотводных труб; q_0 — количество воды, отводимой из осветлителя в шламоотделитель, определяется по формуле

$$q_0 = \frac{Q_0 k_{ш}}{k_m \phi k_a} = \frac{Q_0 k_{ш}}{7 \cdot 1,25} = 0,12 Q_0 k_{ш}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (13-61)$$

где $k_{ш}$ — количество шлама, выделившегося из обрабатываемой воды, кг/м³; $k_{ш \phi}$ — концентрация взвеси по весу в шламовом фильтре, кг/м³; k_a — коэффициент эффективности шламоотвода, принимаемый равным 1,25.

Величина $k_{ш\phi}$ находится при опытным умягчении воды в модели осветлителя. Если такие определения не проведены, то при проектировании осветлителя можно принять ориентировочно $k_{ш\phi} = 7 \text{ кг/м}^3$ при любом соотношении магnezияльной и общей жесткости воды.

Вода, поступающая в шламоотделитель в количестве q_0 , делится на две части. Одна из них непрерывно удаляется в канализацию вместе со шламом (непрерывная продувка). Расход этой воды $q_{пр}$ определяется по формуле (13-56). Другая часть, совершая восходящее движение в шламоотделителе, осветляется и возвращается, присоединяясь к общей массе осветленной воды. Расход ее $q_{ш}$ определяется из следующего уравнения:

$$k_a k_{ш\phi} (q_{ш} + q_{пр}) = Q_0 k_{ш},$$

откуда

$$q_{ш} = \frac{Q_0 k_{ш}}{k_a k_{ш\phi}} - q_{пр}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-62)$$

Подставив $q_{пр} = \frac{k_{ш}}{50} Q_0$, получим:

$$\begin{aligned} q_{ш} &= \frac{Q_0 k_{ш}}{k_a k_{ш\phi}} - \frac{Q_0 k_{ш}}{50} = Q_0 k_{ш} \left(\frac{1}{k_a k_{ш\phi}} - \frac{1}{50} \right) = \\ &= Q_0 k_{ш} \frac{50 - k_a k_{ш\phi}}{50 k_a k_{ш\phi}}, \text{ м}^3/\text{ч}. \end{aligned}$$

С учетом приведенных значений $k_a = 1,25$ и $k_{ш\phi} = 7 \text{ кг/м}^3$ расход $q_{ш}$ равен:

$$q_{ш} = Q k_{ш} \frac{50 - 1,25 \cdot 7,0}{50 \cdot 1,25 \cdot 7,0} \approx 0,1 k_{ш} Q_0, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-63)$$

4. Диаметр шламоотделителя d_3 определяется по уравнению

$$q_{ш} = 3,6 \frac{\pi d_3^2}{4} v_3, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-64)$$

5. Диаметр центральной части осветлителя d_5 определяется из выражения

$$Q_0 = 3,6 \frac{\pi (d_3^2 - d_5^2)}{4} v_3, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-65)$$

6. Диаметр d_4 выходной части осветлителя ЦНИИ-1 определяется из уравнения

$$Q_0 - q_0 = 3,6 \frac{\pi d_4^2}{4} v_4, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-66)$$

Диаметр d_4 выходной части осветлителя ЦНИИ-2 определяется из уравнения

$$Q_0 - q_0 = 3,6 \frac{\pi (d_4^2 - d_5^2)}{4} v_4, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-67)$$

7. Площадь окон Σf одной из шламоотводных труб определяется по уравнению

$$q_0 = 3,6 n \Sigma f v_6, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (13-68)$$

где n — количество шламоотводных труб.

Приняв ширину окна $l = 0,5 d_7$ и высоту его $h = (0,5 \div 1,0) l$, можно определить количество окон в трубе и количество их рядов:

$$m = \frac{\Sigma f}{lb} + 4 \text{ и } m_p = \frac{m}{4}.$$

Окна шламоотводных труб распределяются по зонам осветлителя в следующем соотношении: в центральной и выходной зонах по 30—40%, в переходной конической зоне 20—30%.

8. Диаметр глухой части d_8 шламоотводной трубы определяется из уравнения

$$q_0 = 3,6 n \frac{\pi d_8^2}{4} v_8, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (13-69)$$

9. Высота центральной части осветлителя принимается равной 2—3 м, а выходной зоны 3 м. Высота переходной конической части определяется по формуле

$$h_{\text{к.ч}} = \frac{d_4 - d_8}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \text{ м}, \quad (13-70)$$

где α — угол конусности, равный 40—60°.

Высота входной части осветлителя, образующей зону смешения и водораспределения, определяется по формуле

$$h = \frac{d_1 - b}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2}}, \quad (13-71)$$

где $b = 0,3 \div 0,5$ м в зависимости от производительности; α_1 — угол конусности, равный 70°.

Высота цилиндрической части шламоотделителя осветлителя ЦННН-1 принимается равной $1,25d_5$ при $Q_0 < 100 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $1,1d_5$ при $Q_0 > 100 \text{ м}^3/\text{ч}$, а расстояние $h'_{\text{ш}}$ от низа центральной трубы до плоскости сопряжения цилиндрической части с коническим днищем должно составлять $0,25d_5$ при $Q_0 < 100 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $0,15d_5$ при $Q_0 > 100 \text{ м}^3/\text{ч}$.

13-12. ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Основным критерием для оценки экономичности водоподготовительной установки при сравнении конкурирующих схем водоподготовки является среднегодовая стоимость обработки 1 м^3 воды.

Стоимость 1 м^3 воды определяется по формуле

$$g = \frac{\Sigma B}{\Sigma n Q}, \text{ руб./м}^3. \quad (13-72)$$

где g — стоимость 1 м^3 воды, руб.; ΣB — суммарная стоимость годовых эксплуатационных расходов, руб.; $\Sigma n Q$ — годовая полезная производительность водоподготовительной установки, $\text{м}^3/\text{год}$, где n — число часов работы установки в течение года, которое обычно принимается равным 7000 ч ; Q — часовая полезная производительность установки, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Суммарная стоимость годовых эксплуатационных расходов складывается из следующих величин:

Отчисления на амортизацию здания и оборудования	Г
Расходы на ремонт здания и оборудования	Н
Расходы на содержание эксплуатационного персонала	З
Общественные расходы	О
Расходы на покрытие стоимости воды подаваемой на водоподготовительную установку, включая стоимость воды, потребляемой на собственные нужды установки	П
Расходы на подогрев обрабатываемой воды	Р
Расходы на электроэнергию	Э
Расходы на реагенты и добавок фильтрующих материалов вследствие износа последних	Х

Следовательно,

$$\Sigma B = Г + Н + З + О + П + Р + Э + Х, \text{ руб./год.} \quad (13-73)$$

Входящие в уравнение (13-73) слагаемые определяются по следующим формулам.

Величину отчислений на амортизацию зданий и оборудования можно определить по формуле

$$Г = \alpha D + \beta E, \text{ руб/год,} \quad (13-74)$$

где D — стоимость строительства здания установки, руб.; E — стоимость оборудования, контрольно-измерительных приборов, средств автоматики и трубопроводов с учетом стоимости их монтажа, а также стоимость фильтрующих материалов, загруженных в осветлительные и ионообменные фильтры, руб.; α — отчисления на амортизацию в долях от величины D ($\alpha = 0,025$ для каркасных зданий и $\alpha = 0,032$ для зданий с кирпичными столбами и железобетонными перекрытиями); β — отчисления на амортизацию в долях от величины E (в проектах обычно принимается $\beta = 0,083$).

Величина D определяется по формуле

$$D = 1,2(MH + 0,2MH) = 1,4MH, \quad (13-75)$$

где M — средняя стоимость 1 м³ здания, руб/м³; H — кубатура здания установки, м³, 0,2 — коэффициент, учитывающий стоимость фундамента под оборудование, приемков, каналов и пр. в долях от стоимости здания; 1,2 — коэффициент, учитывающий дополнительные и непредвиденные расходы на проектно-изыскательские работы в долях от стоимости здания и фундаментов.

Величина E определяется по формуле

$$E = 1,05(1,4K + 1,15T) + Л = 1,47K + 1,27T + Л, \quad (13-76)$$

где K — стоимость оборудования, контрольно-измерительных приборов и средств автоматики, руб.; T — стоимость трубопроводов и арматуры, руб.; $Л$ — стоимость материалов, загружаемых в фильтры, руб.; 1,4 — коэффициент, учитывающий стоимость монтажа оборудования; 1,15 — коэффициент, учитывающий стоимость монтажа трубопроводов; 1,05 — коэффициент, учитывающий 5%-ные начисления от стоимости оборудования, трубопроводов и их монтажа.

Величина H определяется по формуле

$$H = 0,2Г, \text{ руб/год.} \quad (13-77)$$

Величина $З$ определяется по формуле

$$З = 1,363Г, \text{ руб/год,} \quad (13-78)$$

где Z_0 — основная зарплата, которая устанавливается штатным расписанием и должностными окладами, руб., 1,36 — коэффициент, учитывающий начисления на зарплату.

Величина O определяется по формуле

$$O = 0,3(Z + Г + H), \text{ руб/год.} \quad (13-79)$$

Величина Π определяется по формуле

$$\Pi = en(Q + q_ч), \text{ руб/год,} \quad (13-80)$$

где e — стоимость 1 м^3 исходной воды, руб/ м^3 (при подаче воды на установку непосредственно из источника водоснабжения $e = 0,002$ руб/ м^3 ; при заборе ее из действующего водопровода — по установленной цене на воду); $q_ч$ — часовой расход воды на собственные нужды установки, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Величина P определяется по формуле

$$P = \frac{a \Delta t n (Q + q_ч) \cdot 1000}{10^6} = 0,001 a \Delta t n, \text{ руб/год.} \quad (13-81)$$

где Δt — среднегодовая величина подогрева воды, $^{\circ}\text{C}$; a — ориентировочная стоимость тепла, равная 1 руб. за 10^6 ккал.

Величина $\mathcal{E}$ определяется по формуле

$$\mathcal{E} = Nk, \text{ руб/год,} \quad (13-82)$$

где N — расход электроэнергии на нужды установки, $\text{квт} \cdot \text{ч/год}$; k — отпускная стоимость электроэнергии руб/($\text{квт} \cdot \text{ч}$).

Величина X определяется по формуле

$$X = \Sigma GC, \text{ руб/год,} \quad (13-83)$$

где G — годовой расход реагента, кг/год ; C — прейскурантная цена реагента, руб/кг.

Для того чтобы выполнить полностью указанные технико-экономические расчеты, необходимо произвести технологические расчеты, начертить развернутую схему водоподготовки и компоновочные чертежи водоподготовительной установки. Руководствуясь развернутой схемой водоподготовки, следует составить полный перечень оборудования, арматуры, контрольно-измерительных приборов, потребного количества фильтрующих материалов, объем здания химцеха и подсчитать стоимость

всего указанного, пользуясь справочниками и прейскурантами. Количество трубопроводов, а следовательно, и их стоимость определяются на основании компоновочных чертежей.

13-13. ПРИНЦИПЫ КОМПОНОВКИ АППАРАТУРЫ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

На крупных ТЭС водоподготовительные установки обычно выносятся в отдельное здание либо размещаются в здании объединенного вспомогательного корпуса. Отдельное здание водоподготовительной установки удобнее располагать со стороны постоянной торцевой стены главного здания ТЭС, причем расширение ее предусматривается в сторону, противоположную расширению главного здания станции. Торцевая нерасширяемая часть здания водоподготовки выполняется обычно в виде трех- или четырехэтажной башни, предназначенной для установки промывочных баков, химической лаборатории, служебных и бытовых помещений.

Размещение водоподготовительной установки в отдельном здании имеет ряд преимуществ: 1) упрощается возможность дальнейшего расширения установки; 2) проще решается вопрос приема реагентов, так как здание водоподготовки может быть обеспечено подъездными железнодорожными путями; 3) создаются более легкие условия удаления отходов (недопала извести, отработанных фильтрующих материалов). Но такое размещение влечет за собой сооружение бытовых помещений (душей, санузлов и т. п.), требует дополнительных капитальных вложений на длинные трубопроводы, соединяющие водоподготовительную установку с главным зданием ТЭС.

При размещении водоподготовительной установки в объединенном вспомогательном корпусе или в пристройке к зданию ТЭС отпадает необходимость сооружения специальных бытовых помещений, сокращается длина соединительных трубопроводов. С другой стороны, такое размещение усложняет последующее расширение установки и доставку реагентов, так как только в исключительных случаях удастся подтянуть к складам водоподготовки железнодорожный путь.

Здание водоподготовительной установки в основном одноэтажное. Размеры его должны учитывать возмож-

ность сооружения корпуса с применением сборного железобетона (пролет кратен 6 м; шаг между колоннами 6 или 12 м).

Компоновка оборудования должна учитывать возможность дальнейшего расширения установки. При компоновке основного оборудования водоподготовительной установки должны быть обеспечены удобное расположение аппаратов, облегчающее работу обслуживающего персонала, полное использование помещения, минимальные затраты на сооружение здания и фундаментов под оборудование, вентиляция и по возможности удовлетворительные условия естественного освещения. Желательно располагать оборудование в соответствии с технологической схемой обработки воды. Кроме того, необходимо учесть возможность удобного монтажа, ремонта аппаратуры и замены изношенного оборудования новым. Исходя из этих положений, целесообразно размещать всю тяжелую аппаратуру на полу здания.

В фильтровальном зале проход между фильтрами и стеной должен быть не меньше 500 мм, а свободный проход между соседними фильтрами после монтажа фронтальных трубопроводов — не менее 700 мм. При расположении фильтров фронтами друг к другу ширина коридора, образующегося между выступающими частями, должна быть не менее 2 м.

Осветлители, громоздкие декарбонизаторы и баки, емкости для хранения крепкой серной кислоты располагаются, как правило, на открытом воздухе с применением в необходимых случаях обогрева и теплоизоляции. Помещения под осветлителями, расположенными вне здания, должны соединяться теплым коридором с основным зданием водоподготовки. Баки, расположенные внутри или вблизи здания водоподготовки, обычно предусматриваются только для целей собственных нужд установки, а именно для хранения растворов реагентов, предварительно очищенной, коагулированной, известкованной и обессоленной воды, промывочных вод осветлительных фильтров, воды для взрыхления тонких фильтров и, наконец, баков, служащих для регенерации промывочных вод осветлительных фильтров. В случае расположения этих баков на уровне земли устанавливают по одному насосу для промывки и взрыхления.

Для хранения запаса обессоленной воды и сбора загрязненного конденсата, а также для накопления воды,

расходной на промывки оборудования на блочных ГРЭС с агрегатами по 150, 200 и 300 Мвт, устанавливаются три бака емкостью по 1 000 м³, а на ТЭЦ с турбинами 50 и 100 Мвт три бака емкостью по 500 м³ с соответствующей противокоррозионной защитой внутренней поверхности. Один из трех баков предназначается для сбора загрязненного конденсата.

Реагентное хозяйство со всеми приспособлениями обычно размещается в одном здании с водоподготовкой. Сюда относится механизированный склад для хранения и транспортирования основных реагентов (извести, каустического магнезита, глинозема, поваренной соли) и фильтрующих материалов, а также гитравитические мешалки, гасильные устройства для извести и растаорители соли. Склад реагентов обслуживается железнодорожным путем широкой колеи. При речном транспорте склад реагентов может располагаться у причала, отдельно от здания водоподготовки, для непосредственного приема выгружаемых из барж материалов.

Склад реагентов располагается обычно или у постоянного торца (поперечное расположение), или вдоль здания водоподготовки (продольное расположение). Продольное расположение склада рекомендуется при больших расходах реагента, причем емкость склада каждого реагента должна обеспечивать выгрузку не менее одного вагона. Во всех случаях емкость склада должна обеспечивать приемку квартальной потребности всех реагентов.

Склады извести, едкого натра, каустического магнезита и кислоты должны быть изолированы от остальных помещений.

Фосфаты рекомендуется хранить на складе водоподготовки и там же иметь мешалку и насос для приготовления раствора и подачи его в расходные баки котельной.

Аппаратура непрерывной продувки обычно размещается в главном здании электростанции, причем расширители устанавливаются в помещении котельной, а теплообменники для использования тепла продувочных вод устанавливаются либо в котельной, либо в насосном коридоре. В тех редких случаях, когда теплообменники продувочной воды ставятся на сырой воде, их располагают также и в здании водоподготовки, куда подводится продувочная вода.

Химический состав наиболее характерных водоемов СССР

№ п/п	Название водоема	Место отбора профи воды	Вещ- ные мг/кг	Суш- ный остаток, мг/кг	Минераль- ный осадок, мг/кг	Окисле- мость до O ₂ , мг/кг	Жесткость, мг-экв/кг		
							Ж _{Ca}	Ж _{Mg}	Ж _{тв}
1. Реки									
1	Амударья	г. Керки	4970,0	—	657,2	—	5,76	3,12	2,64
2	Амур	г. Хабаровск	35,0	66,0	58,0	2,8	0,87	0,7	0,17
3	Ангара	г. Ангарск	1,78	116,0	87,7	2,8—6,7	1,18	1,11	0,07
4	Белая	г. Салават, БАССР	—	263,0	252,9	5,5—52	4,5	3,54	0,96
5	Волга	г. Балахна	—	152,6	120,3	16,8	2,07	1,7	0,37
6	Волга	г. Волгоград	41,6	299,0	277,2	10,4	3,8	2,6	1,2
7	Волга	г. Казань	10,0	360,0	331,8	11,2	4,8	2,3	2,5
8	Волга	г. Калинин	3,0	274,2	257,8	4,64	3,3	3,3	0
9	Волга	г. Саратов	—	350,1	342,3	3,7	4,2	2,4	1,8
10	Волга	г. Энгельс	76,0	204,2	132,2	4,8	2,5	1,9	0,6
11	Волга	г. Ярославль	13,0	167,6	141,8	14,24	2,5	1,95	0,55
12	Волхов	г. Новгород	—	—	105,0	25,3	1,47	1,2	0,27
13	Воронеж	г. Дипеш	—	320,4	300,6	—	5,1	4,6	0,5
14	Вятка	г. Кирово-Чепецк	15,0	113,0	58,0	10,22	1,15	0,9	0,95
15	Двина	г. Даугавпилс	50,0	—	116,9	12,5	3,2	3,0	0,2
16	Двина Северная	г. Архангельск	—	—	349,7	8,5	6,48	4,34	2,14
17	Десна	г. Чернигов	—	—	228,0	5,3	4,29	4,1	0,19
18	Днепр	г. Запорожье	14,0	315,3	223,7	10,24	3,82	3,08	0,74
19	Дон	г. Залесск	—	—	300,0	5,8	5,1	4,81	0,29
20	Донец	г. Лисичанск	—	—	301,5	—	4,8	3,2	1,6
21	Енисей	г. Красноярск	2,6	154,4	141,3	0,64—6,0	2,6	2,3	0,3

п/п №	Название водоема	Содержание ионов и окислов, мг/л*									
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	SiO ₂ ⁻	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃
1	2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>1. Реки</i>											
1	Амударья	90,2	15,2	118,6	190,4	202,7	126,9	—	—	10,0	—
2	Амур	13,4	2,46	—	42,7	4,2	3,0	—	—	9,0	6,8
3	Ангара	16,48	4,33	1,28	67,6	7,0	2,2	—	—	0,68	17,0
4	Белая	66,3	14,4	4,14	216,0	37,0	13,0	—	—	15,0	0,3
5	Волга	28,0	8,15	4,5	103,7	24,7	1,8	—	—	1,0	1,4
6	Волга	60,0	9,7	22,8	158,5	57,4	35,0	—	—	8,0	11,4
7	Волга	72,0	14,5	18,3	140,3	140,0	15,0	—	—	3,0	0,5
8	Волга	48,0	10,9	30,8	201,0	49,0	7,84	5,5	0,31	2,5	0,9
9	Волга	62,0	13,2	38,2	146,0	120,0	34,0	—	—	—	—
10	Волга	32,2	10,8	20,9	116,0	34,6	28,0	—	—	8,68	0,8
11	Волга	34,4	9,08	2,16	23,13	6,7	5,8	0,3	—	17,3	1,26
12	Волгов	23,7	3,5	6,2	73,2	6,7	14,0	—	—	21,6	—
13	Ворожеж	72,2	17,4	12,5	280,6	33,5	10,0	—	—	13,0	2,5
14	Вятка	19,04	2,43	—	58,0	19,3	3,18	6,0	—	10,2	—
15	Двина	42,7	13,1	3,96	183,0	12,6	3,7	0,3	—	—	—
16	Двина	102,0	16,8	6,9	264,0	93,2	7,1	—	—	—	—
17	Десна	68,7	10,3	6,1	250,8	15,0	4,9	—	—	—	0,06
18	Днепр	61,9	15,0	8,6	188,0	29,67	15,84	—	—	4,0	4,4
19	Дон	53,9	29,4	19,6	293,5	48,2	5,0	2,4	0,2	—	—
20	Тонеч	84,0	7,3	10,75	195,2	48,0	38,0	—	—	22,0	0,1
21	Енисей	36,98	9,1	—	140,0	10,1	3,2	—	—	11,4	3,87

п/п №	Название водоема	3	4	5	6	Укв. де- мость по О ₂ , мг/кг	Жесткость, мг-экв/кг		
							Ж _о	Ж _х	Ж _{вв}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	Иртыш	г. Омск	172,4	344,4	235,4	14,8	2,8	2,7	0,1
23	Кальмык	Донбасс	—	3876,0	3440,0	—	26,2	6,6	19,6
24	Кама	г. Березинка	155,0	1098,0	903,0	11,8	5,2	2,2	3,0
25	Каменка	Донбасс	—	704,0	568,0	—	8,75	7,6	1,15
26	Клязьма	г. Владимир	8,0	347,0	260,4	8,96	3,2	2,6	0,6
27	Кострома	г. Кострома	—	246,0	196,3	—	3,36	1,86	1,5
28	Кура	г. Армавир	—	299,0	224,5	—	3,47	2,4	1,07
29	Кура	г. Али-Байрамлы	300,0	884,0	840,8	5,52	7,36	3,8	3,56
30	Лена	—	—	474,0	393,0	—	3,46	2,42	1,04
31	Лопань	г. Харьков	—	874,0	794,0	—	10,0	6,6	4,3
32	Дугань	Донбасс	—	1019,0	808,7	—	8,05	2,42	5,63
33	Миасс	г. Челябинск	44,0	470,6	428,7	8,6	4,67	1,4	3,27
34	Миус	г. Челябинск	550,0	—	1520	3,21	12,3	3,9	8,4
35	Москва	Штерт РЭС, Луганской обл.	—	—	222,0	8,3	4,3	3,3	1,0
36	Москва—водопровод	ТЭЦ № 12 Мосэнерго	—	—	145,7	8,2	2,8	2,16	0,65
37	Нарва	ТЭЦ № 11 Мосэнерго	—	178,0	115,7	—	2,14	1,9	0,24
38	Нева	Эстонская ССР	—	166,0	40,8	—	0,55	0,43	0,12
39	Неман	д. Ново-Саратовская	18,0	67,2	23,0	7,6	4,2	4,1	0,1
40	Норилька	г. Каунас	—	—	99,7	5,0	0,83	0,79	0,04
41	Обь	г. Норильск	405,0	105,0	202,2	2,86	3,23	1,21	2,02
42	Ока	г. Новосибирск	62,4	206,0	359,8	13,6	5,97	4,0	1,97
43	Пенора	г. Горький	—	438,0	57,7	16,0	0,9	0,78	0,12
44	Святая	с. Усть-Шильма	—	—	394,2	68,0	6,1	5,1	1,0
		г. Ульяновск	—	431,0	—	—	—	—	—

п/п №	Название водоема	Содержание ионов и окислов, мг/кг									
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
22	Иртыш	28,1	17,0	36,1	165,0	31,7	34,0	3,0	0,07	5,65	—
23	Кальмиус	262,0	159,0	668,0	398,0	1556	411,0	—	—	22,2	—
24	Кама	90,0	8,5	240,0	134,4	50,4	440,0	—	—	9,7	—
25	Каменка	109,0	40,2	41,0	403,0	112,0	20,3	—	—	15,0	—
26	Клязьма	47,0	10,3	25,1	158,7	52,67	21,0	1,2	—	16,6	12,0
27	Кострома	53,6	8,3	4,0	113,5	62,5	13,2	—	—	—	—
28	Кубань	58,6	6,5	14,2	146,5	59,2	14,0	—	—	—	—
29	Кура	60,0	53,0	161,0	232,0	197,0	214,0	26,0	—	20,0	—
30	Лена	47,2	13,4	81,3	147,5	61,9	116,5	—	—	—	—
31	Юлень	167,0	30,6	67,6	400,0	282,0	47,0	—	—	4,05	—
32	Лугань	70,1	55,0	120,0	148,0	3,4,0	123,0	—	—	17,7	—
33	Миасс	56,0	22,8	39,6	85,5	214,0	19,0	—	0,05	6,0	30,5
34	Миус	156,0	55,0	262,0	238,0	85,0	71,0	—	—	4,0	—
35	Мо.ква	60,0	15,8	—	201,0	13,5	25,5	—	—	10,0	0,43
36	Мо.ква—водопровод	40,0	9,8	—	131,0	19,2	9,0	—	—	1,45	0,1
37	Нарва	24,3	11,2	4,6	115,0	14,0	4,6	—	—	—	—
38	Нева	9,0	1,2	2,7	26,2	6,1	3,9	—	—	5,95	0,29
39	Неман	56,4	16,8	10,4	250,1	8,9	13,0	0,08	—	2,17	0,46
40	Норилька	12,6	2,5	18,0	48,0	25,9	8,4	—	—	11,0	—
41	Обь	49,2	9,37	0,67	74,0	91,23	5,24	0,09	—	12,5	0,09
42	Ока	91,8	16,8	7,8	244,0	81,0	22,0	—	—	17,8	0,4
43	Печора	12,2	3,53	2,6	47,0	5,8	4,0	—	—	7,6	0,52
44	Свияга	105,5	10,1	26,5	311,0	82,0	16,0	—	—	9,4	10,1

В/В №	Название водоема	Место отбора проб воды	Вещество, мг/кг	Суммарный остаток, мг/кг	Минеральная остаток, мг/кг	Окисляемость по O ₂ , мг/кг	Жесткость, мг-экв/кг		
							Ж _о	Ж _в	Ж _{тв}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45	Тобол	г. Кустанай	18,0	—	1077,4	—	8,22	3,75	4,47
46	Томь	г. Кемарово	753	151,2	112,2	5,08	1,6	0,96	0,64
47	Гомь	г. Новокузнецк	4,0	136,0	126,9	2,0	2,32	2,3	0,02
48	Горьк. Каменный	Донбасс	—	159,0	1304,0	8,7	13,1	9,35	3,75
49	Гура	г. Нижняя Гура	8,0	117,0	112,05	5,7	1,77	1,43	0,34
50	Увель	г. Свердловской обл.	—	276,0	231,2	12,8	3,5	2,9	0,0
51	Урал	г. Гурьев	34,0	769,6	624,7	5,2	6,2	3,84	2,36
52	Цита	г. Тамбов	25,0	584,0	446,7	5,7	6,9	4,5	2,4
53	Шексна	г. Череповец	10,4	296,4	242,6	12,05	4,1	2,1	2,0
11. Водохранилища									
1	Исаковское	г. Коммунарск	—	1066,0	996,0	3,6	9,5	4,0	5,5
2	Карачунзское	г. Луганской обл.	—	423,0	378,0	6,24	4,87	3,3	1,57
3	Луганское	пос. Мироновский	—	1464,0	1235,0	7,6	11,0	4,1	6,9
4	Нуринское	г. Донецкой обл.	—	1017,0	992,0	7,3	6,8	4,4	2,4
5	Тернопольское	г. Тернопольской обл.	—	3483,0	3385,0	4,5	26,1	3,5	22,6
6	Шошарское	г. Харьковской обл.	—	458,0	420,3	0,64	5,12	4,6	0,52

п/п		Название водоема	Содержание ионов и кислот, мг/л									
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	SiO ₂ ⁻	Al ₂ O ₃ ⁺ + Fe ₂ O ₃
1	2	3	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
45	Гобол	93,0	43,5	243,1	228,2	294,6	300,7	—	—	—	—	—
46	Томь	234,0	5,2	—	58,3	20,5	8,8	—	—	—	19,2	10,5
47	Томь	32,87	8,28	1,16	140,0	2,96	0,3	—	—	—	8,0	6,0
48	Терец Казенный	158,0	64,0	209,0	570,0	414,0	244,0	—	—	—	39,2	—
49	Тура	24,0	6,9	5,2	87,2	19,8	5,4	—	—	—	9,2	0,7
50	Увель	51,0	11,55	18,3	176,5	34,1	22,0	4,0	0,04	—	2,65	0,14
51	Урал	108,2	9,7	107,3	234,2	107,0	170,0	—	—	—	9,12	—
52	Шна	100,0	23,1	20,3	275,0	95,0	40,0	10,0	0,6	—	28,0	0,6
53	Шексна	56,1	15,8	2,25	128,1	97,7	2,4	—	—	—	6,7	0,5
II. Водохранилища												
1	Ислюковское	110,0	48,6	154,0	244,0	488,0	67,0	6,0	0,6	—	2,1	0,1
2	Ключиновское	54,0	26,4	44,1	201,0	112,0	41,0	—	—	—	1,8	—
3	Луганское	102,2	71,63	215,0	225,7	528,0	201,0	0,3	0,013	—	7,6	0,17
4	Нуринское	70,2	40,2	237,0	268,0	264,0	255,0	—	—	—	6,6	2,8
5	Терновское	240,0	170,0	668,0	213,0	1516	684,0	—	—	—	2,7	—
6	Шолыжское	58,0	27,0	54,0	181,0	88,0	25,0	20,8	—	—	12,0	—

Ш/п	№	Название водоема	Место отбора п.кбы вода	Вызвешенные вещества, мг/кг	Сухой остаток, мг/кг	Минеральный остаток, мг/кг	Окисляемость по O ₂ , мг/кг	Жесткости, мг-экв/кг			
								M _н	M _к	M _{цв}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
III. Пруды											
1	2	Верхне-Татильский	Верхне-Татильская ГРЭС	—	244,5	208,8	13,2	3,08	1,7	1,38	
2		Нижне-Татильский	ТЭЦ Металлург. комбината	40,0	171,4	140,1	9,92	1,8	0,6	1,2	
3		Ново-Грозненский	г. Грозный	14,0	604,0	511,5	3,92	7,4	3,8	3,6	
4		Несветай ГРЭС	г. Красный Сулин	—	1380,0	1212,0	24,0	8,35	3,3	5,05	
5		Черепетская ГРЭС	г. Суворов	—	212,0	193,7	4,9	3,34	2,7	0,64	
IV. Артезианские скважины											
1		Коктла-Яре	Эстонская ССР	—	351,0	259,0	—	5,18	4,57	0,61	
2		Краматорск	Донецкая обл.	—	1248,0	1076,7	3,2	11,5	5,0	6,5	
3		Львов	Западная Украина	—	228,0	208,8	—	3,57	3,54	0,03	
4		ТЭЦ ЗИЛ	Москва	—	442,8	424,7	8,7	6,0	4,8	1,2	
V. Озера											
1		Балхаш	Казахская ССР	—	1775,0	1496,1	—	10,7	3,17	7,53	
2		Байкал	Восточная Сибирь	—	—	69,5	—	1,43	1,12	0,31	
3		Верхне-Исетское	Урал	—	80,0	40,2	—	0,76	0,4	0,36	
4		Телецкое	Алтай	—	68,0	54,4	—	0,83	0,83	—	
5		Аникийтей	Литовская ГРЭС	17 0	230,0	190	—	4,3	3,8	0,5	

Название водосома		Содержание в % в числах мг/лг									
п/п	№	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SiO ₂ ⁻	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	
1	2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
III. Пруды											
1	Верхне-Татильский	44,5	10,3	8,98	103,7	71,3	10,0	—	11,3	3,8	—
2	Нижне-Татильский	27,4	5,23	7,92	36,4	62,1	9,0	—	12,8	0,38	—
3	Ноло-Грозненский	98,2	30,4	29,5	231,9	194,0	28,0	2,4	19,0	—	—
4	Не, нетай ГРЭС	84,1	50,5	24,0	201,0	640,0	82,0	—	5,64	—	—
5	Черепетская ГРЭС	56,9	5,97	5,08	164,5	35,3	4,5	—	6,3	—	—
IV Артезианские скважины											
1	Колда-Ярне	48,6	33,4	—	279,0	12,5	12,3	—	19,3	—	—
2	Краматорск	166,0	39,01	44,0	305,0	336,0	190,0	14,0	35,0	0,08	—
3	Лысьва	67,3	2,5	5,7	216,0	6,6	5,0	—	15,7	—	—
4	ТЭЦ ЗИЛ	71,4	29,6	37,6	293,0	99,5	27,0	—	13,2	5,2	—
V. Озера											
1	Балхаш	38,7	106,0	331,0	194,0	572,0	345,0	—	10,1	—	—
2	Байкал	21,3	4,3	0,35	68,3	6,4	3,5	—	—	—	—
3	Верхне-Исетское	7,2	4,8	1,24	24,4	12,0	2,0	—	1,2	—	—
4	Телецкое	12,85	2,29	5,8	51,8	2,8	0,77	—	5,7	—	—
5	Ангштый	56,4	18,0	2,99	232,0	21,0	7,1	0,08	16,0	—	—

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шкроб М. С. Водоподготовка и водный режим на отечественных и зарубежных тепловых электростанциях. — В кн.: Итоги науки и техники М., ВИНТИ, 1969.
2. Стирикович М. А., Мартынова О. И., Миропольский З. Л. Процессы генерации пара на электростанциях М., «Энергия», 1969.
3. Химические очистки теплоэнергетического оборудования Под ред. Т. Х. Маргуловой. М., «Энергия», 1969.
4. Клячко В. Н. и Апельсин И. А. Очистка природных вод. М. Стройиздат, 1971.
5. Водоподготовка, водный режим и химконтроль на паросиловых установках. Под ред. М. С. Шкроба и В. И. Вульфсона М., «Энергия», 1964, вып. 1, 1966, вып. 2; 1969, вып. 3; 1972, вып. 4.
6. Мешерский Н. А. Контроль водного режима на тепловых электростанциях и в котельных М., «Энергия», 1970.
7. Справочник химика-энергетика, том первый «Водоподготовка и водный режим парогенераторов», М., «Энергия», 1972.

Дистиллят 10
Диффузный слой 214
Дозирование вымывка 141
Долomit 17
ДСА, ДСВ, ДСП 195

Жесткостемеры 191
Жесткость воды кальциевая 26
— — карбонатная 26
— — магниевая 26
— — некарбонатная 26
— — общая 26
Жидкий наприт 14

З

Загипсование 278
Задача водоподготовки и водового режима 7
Защитная пленка 47
Зона умягчения 271

И

Известкование воды 251
Известники 17
Изoeлектрическое состояние 217
Ингибитор ПБ-5 102
Ингибиторы коррозии 41, 47
Индикаторы коррозии 181
— отложений 181
Интенсивность прочистки 240
Ионная атмосфера 262
Ионы водорода 20
— гидроксиды 20
— кальция 19
— магния 19
— натрия 20
— сульфата 20
— хлора 20
Испарители водотрубные 332, 333
— паротрубные 331, 332
Испарительные установки 328
— — двухступенчатые 328
— — многокорпусные 328
— — многоступенчатые 328
— — одноступенчатые 328
Исполнительные механизмы автоматизации фильтров 323

Каптакс 102
Карбонат железа 17
— кальция 17
— магния 17
Катапин 102
Катионирование воды 260
Катиониты 262, 263
Каустическая хрупкость 35
Кварцевые породы 17
Кислород 24
Кислородные томеры 191
Кислота азотная 102
— кремниевая 23, 269
— лимонная 102
— серная 279
— соляная 279
Кислотное хозяйство 297
Коагулирование воды 212
Коагулянт 212
Коагулятор 213
Коагуляция примесей воды 212

Колонка дистанционного управления (КДУ) 318
Командный электрический прибор (КЭП) 324
— электрогидравлический прибор (КЭГП) 324
Комплексонаты 108
— железа 140
— кальция 140
— магния 140
— меди 140
Комплексоны 102, 108
Комплексы медноаммиачные 46
Компоновки теплоподготовительных установок 396
Конденсат загрязненный 12, 13
— обратный 10
— турбинный 10
Консервация изоляции 61
— сухая 61
Контактная коагуляция 230
Контактные осветлители 230
Коррекционная обработка воды реагентами 139, 146
Коррозионная усталость 35, 38
Коррозия металлов 6
— — аммиачная 47, 65, 70
— — водородная 36
— — гальваническая 53
— — избирательная 48
— — кислородная 43, 52
— — конденсаторов 47
— — конденсаторов 63
— — межкристаллитная 35, 56
— — местная 34, 58
— — неравномерная 34
— — нитритная 53
— — общая 34
— — пароводяная 35, 57
— — паровых турбин 62
— — парогенераторов 52
— — пароперегревателей 59
Коррозия подшламовая 54
— — пятнами 34
— — равномерная 34
— — ракушечная 34, 54
— — сквозная 34
— — сточная 60
— — тепловых сетей 67
— — точечная 34
— — тракта питательной воды 47
— — углекислотная 45
— — ударная 64
— — химическая 31
— — щелочная 54
— — электрохимическая 31, 36, 56
— — язвенная 34
Коэффициент избирательного уноса 120
— — капельного уноса 118
— — набухания 261
— — неоднородности 264
— — распределения 120
— — теплопроводности некипел 77
Красная медь 49
Кремнистость 269
— — рабочая 269
Кремниевая кислота 23
Кризис кипения 87
Кристаллооптический анализ 181
Критическая нагрузка 117
— — скорость пара по срыву пленки 185
Критическое содержание 117
КЭС 5

Латунь 112
Легкорастворимые соединения латуни 86
Лимонная кислота 102
Лотковый режим течения смеси 88

Магнезальное обескремнивание 253, 258
Магнетит 106
Магнитная обработка воды 346
Макропары 40
Медноаммиачные комплексы 106
Медноникелевые сплавы 112
Межпромысловый период 113
Мергель 17
Механические способы очистки загрязненных поверхностей 95
Механический износ 265
Мокрое крашение соли 296
Моноль-металл 112
Монофосфат натрия 149
Моноцитрат аммония 102
Морфолин 142
Моторчик Уоррена 327
Мышьяк препараты ОП-7, ОП-10 105
Мунд-металл 204
Мышькованная бронза 204

Н

Набухаемость 261, 264
Набухание водяного объема 117
Накипеобразование 6, 79
Накипеобразователи 78
Накипи 68, 73, 82
— алюмосиликатные 82
— железосиликатные 74, 83
— железосиликатные 74, 82
— железосиликатные 74, 83
— кальциевые 73
— магниевые 73
— медные 74, 85
— силикатные 73
— сульфатные 73
— ферросиликатные 82
— фосфатные 73
— щелочноземельные 72, 81
Намытый ионитный фильтр 308
— целлюлозный фильтр 247
Насос-дозатор 227
Насыпная плотность 264
Натрий катионит 264
Натроалюмосиликаты 74
Натроферросиликаты 74
Нержавеющая сталь 49
Нефелометры 191
Никелевая бронза 204
Нормы непрерывной продувки парогенераторов 163

О

Обезмасливание пара 241
— конденсата 242
Обесцинкование общее 64
— пробное 36, 64
Обменная емкость ионитов 261
— остаточная 272
— полная 265, 271
— рабочая 265, 271

Обработка охлаждающей воды 339, 341
— — магнитным полем 344 351
— — медным купоросом 345
— — серной кислотой 342
— — углекислотой 343
— — фосфатами 344
— — хлорной известью 345
— — хлором 345
Окисляемость воды 28
Окисная пленка 32
Октаденилаты 52, 144
Органические вещества 28
Осадочные породы 17
Осветление воды 212
Отбор проб воды и пара 163
Отложения в паровых турбинах 6, 108
— — парогенераторах и теплообменниках 56
— железные 73
— медные 73
— натриевые 75
— щелочноземельные 73
Отмывка фильтра 311
Относительная концентрация едкого натра 57
Отрицательный коэффициент растворимости 81
Отсек солевой 165
— чистый 165
Отставание воды 212
Очистка парогенераторов предпусковая 72, 95, 98, 114
— — эксплуатационная 73, 95, 103, 114

П

Пар вторичный 328
— первичный (греющий) 328
Паровые растворы 109
Паропреобразователи 330
Пассивное состояние металлов 12
Пептизация 265
Персульфат аммония 108
Перхлорвиниловые лаки 49, 211
Пиперидин 142
Пламенные фотометры 190
Пленкообразующие винами 51
Поверхность скольжения 215
Подготовка морской воды для питания испарителей 336
Поддержание заданной температуры 317
Показатели качества винионитов 268
— — воды 25
— — после отдельных стадий ее обработки 356
— — катионитов 266
Полиакриламид 221
Полиизобутилен 49
Поликремниевая кислота 23
Полиметафосфат натрия 149
Полипропилен 49
Полиэтилен 49
Полярная 40
Потери пара и конденсата 10
— — — — — внешние 10
— — — — — внутритурбинные 10
Потери пара в фильтре 232
Предмонтажная очистка блоков парогенераторов 95
Предпусковая очистка парогенераторов 72, 95, 98, 114

Примеси воды 18
 — грубодисперсные 18
 — коллоиднодисперсные 18
 — молекулярнодисперсные 18, 19
 Присое воды в конденсаторах через неплотности 13
 Программный автомат регенерации фильтров (АР) 326
 Продувка парогенераторов непрерывная 13, 141
 — периодическая 13, 156
 — шламочная 155
 Производные растворимости 79
 Производительность водоподготовительной установки 359
 Промывка пара 139
 — пароперегревателя индивидуальная 135
 — — общая 135
 — турбины 136
 — — на коллестом ходу 136
 — — под нагрузкой 136
 — смесью карбоната аммония, гидразина, серной и лимонной кислот 139
 — трилоном Б с гидразином 138
 — увлажненным паром 236
 — целочным раствором 138
 Промывочно-сепарационные устройства 13
 Промывочные схемы 97
 Противоионный эффект 273
 Противоионы 214
 Противовосное кагмулирование 274
 Процесс кристаллизации 78
 — накипеобразования вторичный 79
 — — первичный 79
 Притание солей 89
 Псевдооживленный слой 292

Р

Радиография 181
 Растрескивание металла водородное 57
 Расчет декарбонизаторов 181
 — ионитных фильтров 364
 — коагуляционной установки 385
 — осветлителей 387
 — осветлительных фильтров 363
 — технико-экономический 193
 — установки для мгнезимального обескремнивания воды 386
 Расширитель непрерывной промывки 158, 160
 Регенерация ионитов 272
 Регистрирующие pH-метры 190
 Режим пенный 118
 — пузырьковый 118
 — струйный 118
 — чисто фосфатный
 котловой воды 151
 — щелочно-фосфатный 160
 Рекарбонизация воды 343
 Рентгенографический анализ 181
 Рентгенооскопия 182

С

Самоочистка конденсаторов резиновыми шариками 107
 Свободный уровень 89
 Селитра 145
 Серпентин 76, 79
 Сигнализатор уровня шлама (СУШ) 317

Силикон 49
 Слоевой барьер 218
 Силы отталкивания 216
 — притяжения 216
 Синтетические смолы 261
 Системы водоснабжения оборотные 339
 — — приточные 339
 — — циркуляционные 339
 Скорость фильтрования 232, 240, 361, 363
 Сложные силикаты 17
 Соединения азота 22
 — железа 22
 — кремния 23
 Солевой баланс КЭС 11
 — — ТЭЦ 13
 Солеемость парогенератора 103
 — турбины 113
 Солесодержание 189
 Солеосодержание воды 11, 13
 — — добавочной 11, 13
 — конденсата 11, 13
 — пара 11, 13
 Спектрометрия пламени 190
 Стабилизация нагрузки 317
 Стабильность воды 28
 Степень дисперсности 18
 Стимуляторы коррозии 40
 Струйно барботажная деаэрация 196, 197
 Ступенчатая регенерация II катионита 279
 Ступенчатое испарение 139, 159, 164
 Сульфит натрия 145
 Сульфит-целлюлозные шелока 145
 Сульфоголь 261
 Сухой остаток воды 25
 СУШ 317

Схема автоматизации промывки катионитных фильтров 322
 — осветлительных фильтров 319
 Схема хлор-натрий ионирования 335
 Схемы монообменных установок для очистки конденсатов 307
 Схемы монообменных установок для подготовки добавочной воды парогенераторов 299
 Схемы установок для подготовки питательной воды испарительной 335
 — — — подпиточной воды тепловых сетей 310

Т

Температурная депрессия 86
 Тепловая очистка конденсатора 118
 Теплохимические испытания 118, 157, 176, 178
 Термическая деаэрация 192
 Термические деаэраторы 194
 Термоумягчитель 338
 Титоловый герметик 14
 Титомочевина 106
 Трилон Б 102
 Триполифосфат натрия 149
 Трубы коррозионностойкие 49
 — полиэтиленовые 51
 — стальные футерованные 51
 — стеклянные 51
 ТЭС 5
 ТЭЦ 5

У

- Углекислота агрессивная 21
 - равновесная 21
 - свободная 21
- Углекислый газ 24
- Угольная кислота 21
- Удельная грязеемкость фильтрующего материала 233, 364
- Унос избирательный 110, 114
 - капельный 110, 115
 - механический 113, 115
 - солей, кремневой кислоты и оксидов металлов 6
- Уплотняющие покрытия 14
- Уротропия 102, 108



- Феррито бариевые магниты 351
- Фильтрование воды 212
- Фильтрация 233
- Фильтры анионитные 285
 - двухэтажные 245
 - ионитные 285
 - катионитные 245
 - лачинные (НН1Ф) 308, 309
 - непрерывного действия 292
 - одноэтажные 285
 - параллельноточные 285
 - протипоточные 285
 - смешанного действия 285
- Фильтры осветлительные багариные 234
 - вертикальные 234
 - горизонтальные 234
 - двухкамерные 234
 - двухпоточные 234
 - двухслойные 234
 - закрытые 234
 - илловые 234
 - однокамерные 234
 - однопоточные 234
 - однослойные 234
 - открытые 234
 - самотечные 234
 - трехкамерные 236
- Фосфатирование индивидуальное 150
 - котловой воды 148
 - деаэрированной 150
- Фосфатный режим котловой воды 146
- Фосфорит 148
- Фотоэлектрические титрагоры 191

- Фотоэлектроколориметры 191
- Фторид аммония 105
- Функциональные химически активные группы 262, 267

Х

- Химическая дегазация 192
- Химический анализ 181, 182
- Химический контроль 182, 183
- Химический состав водосмол 400
- Химический цех 182
- Химическое концентрирование ионов 189
- Хинолин 102

Ц, Ч, Ш

- Циклогексилламин 142
- Число фосфатное (ФЧ) 152
 - щелочное (ЩЧ) 152
- Шламы неприлипающие 68, 76
- прилипающие 78

Щ

- Щелочная выварка 104
- Щелочное хозяйство 298
- Щелочноземельные накипи 80
- Щелочность воды 27
 - бикарбонатная 27
 - гидратная 27
 - карбонатная 27
 - общая 27
 - относительная 177

Э

- ЭДТК 103, 105, 140
- Экспресс лаборатория 182, 183
- Электрические солемеры 189
- Электрогидравлический распределительный кран (ЭРК)
- Электрогидравлическое реле (ЭГР) 325
- Электродные потенциалы 38
- Электромагнитный фильтр 247
- Элементы коррозионные 36
 - макрогальванические 37
 - микрогальванические 37
- Эпоксидающие смолы 49
- Этилендиамин триуксусная кислота (ЭДТК) 103, 105, 140
- Эффективность ступенчатого испарения 168

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
0-1 Значение водоподготовки и водного режима тепловых электростанций для обеспечения их надежной и экономичной эксплуатации	5
0-2 Обращение воды в рабочем цикле тепловой электростанции	8
Глава первая Примеси природных вод и показатели качества воды	16
1-1 Основные положения	16
1-2 Примеси, загрязняющие природные воды	18
1-3 Показатели качества воды	25
1-4 Качество природных вод	28
Глава вторая Коррозия металла паросилового оборудования и методы борьбы с ней	31
2-1 Основные положения	31
2-2 Формы проявления коррозии	34
2-3 Электрохимическая коррозия металлов	36
2-4 Коррозия тракта питательной воды и конденсаторов	47
2-5 Коррозия элементов парогенераторов	52
2-6 Коррозия паровых турбин	62
2-7 Коррозия конденсаторов	63
2-8 Коррозия тепловых сетей	67
Глава третья Отложения в парогенераторах и теплообменниках и способы их удаления	68
3-1. Основные положения	68
3-2 Состав, структура и физические свойства отложений	73
3-3 Образование отложений на внутренних поверхностях нагрева парогенераторов с многократной циркуляцией и теплообменников	78
3-4 Образование отложений на внутренних поверхностях прямооточных парогенераторов	90
3-5. Образование отложений на охлаждаемых поверхностях конденсаторов и по тракту охлаждающей воды	93
3-6 Удаление отложений с поверхности парогенераторов и теплообменных аппаратов	95
	413

Глава четвертая Загрязнение пара, образование отложений по паровому тракту и способы их удаления	108
4-1. Основные положения	108
4-2. Причины загрязнения пара	115
4-3. Отложения по паровому тракту	128
4-4. Промывка пароперегревателей и проточной части паровых турбин	135
Глава пятая. Воднохимические режимы тепловых электростанций	139
5-1. Основные положения	139
5-2. Воднохимический режим тракта питательной воды и обратных конденсаторов	141
5-3. Воднохимический режим парогенераторов с многократной циркуляцией	145
5-4. Воднохимический режим прямоточных парогенераторов	177
5-5. Воднохимический режим конденсаторов	179
5-6. Воднохимический режим тепловых сетей	180
5-7. Проверка эффективности проводимых на ТЭС воднохимических режимов	180
5-8. Химический контроль за водоподготовкой и водным режимом на тепловых электростанциях	182
Глава шестая. Удаление коррозионноагрессивных газов из питательной воды	192
6-1. Термическая деаэрация питательной воды	192
6-2. Деаэрация в конденсаторах паровых турбин	206
6-3. Химическое обескислороживание	207
6-4. Удаление свободной углекислоты	209
Глава седьмая. Удаление грубодисперсных и коллоидных примесей из природных вод и конденсатов	212
7-1. Основные положения	212
7-2. Физико-химические основы процесса коагуляции	213
7-3. Коагуляция воды в осветлителе	222
7-4. Коагуляция и осветление воды фильтрованием	229
7-5. Обезмасливание отработавшего пара и производственных конденсатов на промышленных ТЭЦ	241
7-6. Глубокая очистка конденсатов от мелкодисперсных продуктов коррозии конструкционных материалов на ТЭС сверхкритического давления	246
Глава восьмая. Снижение щелочности, умягчение и обескремнивание природных вод методом осаждения	250
8-1. Основные положения	250
8-2. Физико-химические основы обработки воды методом осаждения	251
8-3. Схемы и аппаратура установок для умягчения и обескремнивания воды методом осаждения	254
8-4. Эксплуатация установок для умягчения и обескремнивания воды методом осаждения	259

Глава девятая	Обработка природных вод и конденсатов методом ионного обмена	260
9-1	Основные положения	260
9-2	Характеристика и свойства ионитовых материалов	263
9-3	Физико-химические основы процессов ионного обмена	270
9-4	Оборудование ионообменных водоподготовительных установок	285
9-5	Схемы ионообменных водоподготовительных установок для питания парогенераторов и области их применения	299
9-6	Схемы установок для химического обессоливания, обескремнивания и обезжелезивания конденсатов	307
9-7	Схемы установок для приготовления подпиточной воды тепловых сетей	310
9-8	Эксплуатация ионитных установок	311
9-9	Автоматизация комбинированных ионитных водоподготовительных установок	316

Глава десятая	Термическое обессоливание воды	327
----------------------	---------------------------------------	------------

10-1	Основные положения	327
10-2	Конструкции испарителей и паропреобразователей	331
10-3	Воднохимические режимы испарительных установок	334
10-4	Схемы установок для подготовки питательной воды испарителей	335

Глава одиннадцатая	Обработка охлаждающей воды конденсаторов паровых турбин	339
---------------------------	--	------------

11-1	Основные положения	339
11-2	Продувка системы оборотного водоснабжения	340
11-3	Обработка охлаждающей воды	341

Глава двенадцатая	Магнитная обработка воды	346
--------------------------	---------------------------------	------------

12-1	Основные положения	346
12-2	Влияние магнитной обработки воды на выделение накипобразователей в твердую фазу	347
12-3	Конструкции аппаратов для магнитной обработки воды	348

Глава тринадцатая	Основы проектирования водоподготовительных установок для тепловых электростанций	351
--------------------------	---	------------

13-1	Основные положения	351
13-2	Выбор источника водоснабжения	353
13-3	Выбор схемы водоподготовки в зависимости от качества исходной воды и типа парогенератора	354
13-4	Показатели качества воды после отдельных стадий ее обработки	356
13-5	Определение производительности водоподготовительной установки	359
		415

Г л	13-6	Расчет осветлительных фильтров
	13-7	Расчет ионитных фильтров
	13-8	Основы расчета декарбонизаторов
	13-9	Основы расчета коагуляционной установки
	13-10	Основы расчета установки для магnezиального обес- кремнивания воды
	13-11	Основы расчета осветлителей
Г л	13-12	Исходные положения для технико-экономических расчетов при проектировании водоподготовительных установок
	13-13	Принципы компоновки аппаратуры водоподготови- тельных установок
		Приложение
		Список литературы
		Алфавитный указатель

Г л

Г л

Г